

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Student: Filip Novak

Zagreb, 2013.

Sažetak rada

Primjena principa razvijenih za posmična gibanja kod numerički upravljanih alatnih strojeva za konvencionalne postupke obrade je vrlo široka. Veliki broj današnjih uređaja i strojeva (strojevi za RP postupke, strojevi za nekonvencionalne obrade, razni uređaji za rukovanje i pozicioniranje dijelova, itd.) koriste rješenja prisutna kod posmičnih osi CNC alatnih strojeva. Pri tome se, ovisno o namjeni i ulaznim podacima, mogu koristiti različite izvedbe za pojedine komponente koje se ugrađuju u posmične osi.

U radu se provodi razmatranje mogućih mjernih sustava koji su danas u uporabi. Njihove karakteristike nam daju uvid u njihove mogućnosti, te se na temelju potreba treba izabrati odgovarajući mjerni sustav. Također treba imati u vidu greške koje se pojavljuju u pojedinim elementima sustava tokom eksploatacije. Izbor mjernog sustava, te ostalih elemenata jedne posmične osi stroja, mora rezultirati većom produktivnosti stroja, smanjenjem troškova obrade, produljenjem životnog vijeka alata, te povećanjem kvalitete obrade a time i kvalitete izratka.

Sadržaj

1.	Uvod	7
	Numerički upravljani alatni strojevi	8
	Definicija NC-a	9
	Princip numeričkog upravljanja	9
	Prednosti CNC strojeva	9
	Nedostaci CNC strojeva	10
2.	Prigoni alatnih strojeva	11
	Motor	12
	Glavni prigoni	12
	Sinkroni motor s permanentnim magnetom	12
	Asinkroni motor	13
	Motorvretena	15
	Motor s reduktorom	15
	Posmični prigon	16
	Linearni motor	16
	Hibridni motor	16
	Mjerni sustav	17
3.	Projektiranje horizontalne osi blanjalice sa mjernom letvom	18
	Pogonski sustav	20
	Senzor	20
	Zašto je važno mjeriti poziciju?	20
	Mjerenje posmične pozicije	21
	Toplinska stabilnost	28
	Utjecaj točnosti pogonskog sustava na izradu dijelova	29
	Primjer: Izrada više dijelova iz sirovca	30
	Izbor linearnog mjernog sustava	31
	Uležištenje kugličnog vretena	38
	Ostale komponente sustava	38
4.	Zaključak	40
5.	Literatura	41

Popis slika

Slika 1 - CNC Tokarilica	7
Slika 2 - Različiti rezni alati	9
Slika 3 - Fizički dijelovi sustava jedne NC osi	11
Slika 4 - Tok informacija pri nadzoru rada stroja.....	12
Slika 5 - Osnovna podjela elektromotora [2].....	13
Slika 6 - Motorvreteno [HSTEC d.d.].....	15
Slika 7 -Kuglično vreteno	17
Slika 8 - Horizontalna os blanjalice.....	18
Slika 9 - Kompozicija posmične osi	19
Slika 10 - Siemens 1FT 5076 0AC01 0Z [3].....	20
Slika 11 - Poluzatvorena petlja [1].....	21
Slika 12 - Zatvorena petlja [1].....	23
Slika 13 - Kontrola brzine i digitalne pozicije [4]	23
Slika 14 - Princip magnetootpornog skeniranja	24
Slika 15 - Ugradnja bubnja sa skalom ERM 2404	25
Slika 16 - Ugradnja bubnja sa skalom ERM 2405	26
Slika 17 - Ugradnja skenerske glave	26
Slika 18 - Rotacioni davač pozicije integriran u kućištu motor.....	27
Slika 19 - Rotacijski davač pozicije ugrađen na kućištu motora	28
Slika 20 - Zagrijavanje kugličnog vretena	29
Slika 21 - Utjecaj točnosti pogonskog sustava na preciznost izrade malih dijelova.....	30
Slika 22 - Utjecaj točnosti pogonskog sustava u serijskoj proizvodnji malih dijelova	31
Slika 23 - Otvoreni linearni mjerni sustav.....	32
Slika 24 - Shematski prikaz zatvorenog linearnog davača pozicije.....	33
Slika 25 – Zatvoreni linearni davač pozicije.....	34
Slika 26 - Specifikacije mjernog sustava	35
Slika 27 - Legenda specifikacije [5]	36
Slika 28 - Ležaj zklf3080.....	38
Slika 29 - Ležaj 6207-2rsr.....	39

Popis tablica

Tablica 1 - Specifikacije odabranog mjernog sustava.....	36
--	----

Popis oznaka i mjernih jedinica

Oznaka	Mjerna jedinica
n_s – učestalost vrtnje	s^{-1}
E_1 – inducirani napon statora	V
U – napon izvora	V
E_2 – inducirani napon rotora	V
I_2 – struja rotora	A
F – sila	N
r – duljina	m
M – zakretni moment	Nm
M_0 – nazivni moment motora	Nm
I_0 – nazivna struja motora	A
P – snaga motora	$W=J/s=Nm/s$
α – koeficijent linearne ekspanzije	K^{-1}
t – vrijeme	s
ML – duljina mjerne skale	m
$d, D, B, D_{a \max}, d_1, d_{a \min}, r_{a \min}, r_{a \max}, r_{\min}$ – duljina	m
m – masa	kg
C_r – statička nosivost ležaja	N
C_{0r} – dinamička nosivost ležaja	N

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i vještinama tokom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i navedenom literaturom.

Zahvaljujem svom mentoru, dr.sc. Tomi Udiljaku na podršci i korisnim savjetima.

Također se zahvaljujem komentoru, dipl. ing. Zlatku Čatlaku na pomoći pri pisanju ovog rada, ustupljenoj literaturi te utrošenom vremenu i trudu.

1. Uvod

Proizvodnja je djelatnost kojom se generira blagostanje naroda. Ako se želi postići visoka produktivnost proizvodnje, proizvodnja podržana računalom (CAM) nema alternative. Stoga su za gospodarski rast nacije neophodni kadrovi s dobrim temeljima u CAD/CAM tehnologijama. Kako bi se udovoljilo takvim potrebama proizvodnih djelatnosti, sveučilišta širom svijeta nude kolegije u kojima su zastupljeni sadržaji koji pokrivaju CAD/CAM tehnologije.

"Alatni stroj je jedini stroj koji može izraditi sam sebe".

Alatni stroj (slika 1) je stroj na kojem čovjek u proizvodnom procesu upravlja alatom. Osnovni zadatak alatnih strojeva je zamjena ljudskog rada uz povećanje točnosti, produktivnosti, ekonomičnosti i drugog. Današnja proizvodnja je nezamisliva bez alatnih strojeva. Ručna obrada i korištenje ručnih alata je skupo i presporo, te je u serijskoj ili masovnoj proizvodnji nemoguće proizvoditi bez pomoći alatnih strojeva. Prednosti alatnih strojeva su: zamjena fizičkog rada radnika, smanjenje broja radnika, bolja iskoristivost alatnog stroja, smanjenje vremena rada, povećanje produktivnosti, smanjenje troškova izrade, povećana ekonomičnost.



Slika 1 - CNC Tokarilica

Dijelovi alatnog stroja:

Sam alatni stroj sastoji se od nekoliko cjelina bez kojih ne može raditi:

- Pogonski dio,
- Prijenos snage, momenta i sile,
- Izvršni ili radni dio,
- Upravljački dio,
- Postolja, kućišta, stupovi, grede, konzole.

Pogonski dio se mijenjao s napretkom tehnike kroz stoljeća. Počevši od pogona snagom životinja, vode, vjetra, zatim u industrijskoj revoluciji upotrebom parnog stroja, te do Nikole Tesle koji nam je dao trofazni elektromotor, koji je i danas osnovni pokretač svih alatnih strojeva. Elektromotor je električni stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad. Trofazni kavezni asinkroni elektromotor se naglo razvijao i upotreba se širi cijelim svijetom. Iako se nekad nije moglo precizno upravljati brojem okretaja, razvoj elektronike danas uvelike omogućuje regulaciju pokretanja, regulaciju broja okretaja i regulaciju momenta trofaznog kaveznog asinkronih elektromotora.

Prijenos snage, momenta i sile se mijenjao s promjenama pogonskih strojeva i povećanjem snage motora, ovisno o potrebnoj pretvorbi mehaničkog rada napretkom tehnike kroz stoljeća. Prigoni su prijenosnici momenta i snage, a mogu biti reduktori (smanjuju broj okretaja, ali povećavaju snagu) ili multiplikatori. Dije se prema načinu gibanja pogonjenog elementa na rotacijske i translacijske (pravolinijske) prigone. Mogu se podijeliti prema načinu rada na električne, mehaničke i hidrauličke. Prema prijenosnom omjeru dijele se na prigone sa stalnim ili promjenjivim prijenosnim omjerom.

Izvršni ili radni dio su različiti alati i naprave. Alati su sredstva u direktnom dodiru s predmetom koji se obrađuje, koji ga preoblikuju ili mijenjaju dimenzije ili svojstva. Naprave su pomoćna sredstva koja se koriste u tijeku proizvodnje, ali direktno ne obrađuju predmet, već sudjeluju kao samostalni uređaji ili dijelovi alatnog stroja.

Upravljački dio alatnog stroja služi za upravljanje gibanjima alata i obratka, te odabiranje parametara obrade.

Numerički upravljani alatni strojevi

Osnove numeričkog upravljanja postavio je 1947.god. John Parsons. Uporabom bušene trake upravljao je pozicijom alata pri izradi lopatica helikopterskog propelera. Godine 1949. američka vojska sklopila je ugovor sa sveučilištem MIT za razvoj programabilne glodalice. Tro-osna glodalica Cincinnati Hydrotel predstavljena je 1952. godine, a imala je elektromehaničko upravljanje i rabila je bušenu traku. Iste godine počinje se rabiti naziv numeričko upravljanje(NC). U civilnoj industriji numeričko upravljanje započinje šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, a široka primjena u obliku računalnoga numeričkog upravljanja(CNC) počinje 1972. godine, odnosno desetak godina kasnije razvojem mikroprocesora.

Definicija NC-a

Numeričko upravljanje je operacija nad alatnim strojem koja proizlazi iz niza kodiranih instrukcija koje se sastoje od brojeva, slova abecede, i simbola koji jedinica za kontrolu strojeva (MCU) može razumjeti. Te instrukcije pišu se logičkim redoslijedom u unaprijed dogovorenu standardiziranom obliku. Skup svih instrukcija potrebnih da bi se provela određena obradba na izratku naziva se CNC program.

Princip numeričkog upravljanja

Alatni stroj sa numeričkim upravljanjem upotrebljava numeričke podatke za direktno upravljanje kretanja pojedinih dijelova stroja. Numerički podatci se procesiraju u upravljačkoj jedinici za obradu, (NC upravljačkog sustava), i onda se proslijeđuju pogonima alatnog stroja za izvršenje programiranog kretanja. Za proizvodnju jednog određenog strojnog dijela potrebno je nekoliko vrsta podataka, kao što su geometrijski, tehnološki, podaci reznog alata (slika 2), itd. Izvor svih informacija je tehnički crtež, napravljen u konstrukcijskom odjelu. Obrada tih podataka se izvodi ručno za konvencionalne alatne strojeve i automatski za numerički upravljane alatne strojeve.



Slika 2 - Različiti rezni alati

Prednosti CNC strojeva

Prednosti CNC strojeva jesu:

- Prilagodljivost (Stroj može izrađivati veću ili manju seriju proizvoda ili samo jedan proizvod, a nakon toga se jednostavno učita drugi program i izrađuje se drugi proizvod.)
- Mogućnost izrade vrlo složenog oblika (Izrada trodimenzionalnih složenih oblika na klasičnim strojevima je skupa, a ponekad i nemoguća. Uporaba CNC stroja omogućuje izradu, a time i konstruiranje i takvih složenih oblika i proizvoda koje prije nije bilo ekonomično proizvoditi.)
- Točnost i ponovljivost (Pomoću CNC stroja moguće je proizvesti veliku količinu (1 00, 1 000 ili više) potpuno jednakih proizvoda odjednom ili povremeno. Razlike koje mogu nastati među proizvodima obično su zanemarive, a nastaju zbog trošenja alata i dijelova stroja. Na klasičnim strojevima to nije moguće. Dio proizvoda čak neće zadovoljiti ni potrebnu kvalitetu.)
- Smanjenje ili potpuno uklanjanje troškova skladištenja. Da bi zadržali svoju funkciju, strojeve je potrebno redovito održavati. Nakon određenog vremena pojedine dijelove

je potrebno zamijeniti. Te dijelove mora osigurati proizvođač stroja. Ako dijelove izrađuje na klasičnim strojevima, proizvođač ih mora proizvesti i uskladištiti kako bi ih nakon pet ili više godina dostavio kupcu. Držanje doknadnih dijelova na skladištu čini trošak. Neki od tih dijelova se nikad i ne isporučuje kupcu jer se dizajn stroja u međuvremenu promijeni pa dijelovi postanu zastarjeli. Uporabom CNC strojeva potrebno je sačuvati, tj. uskladištiti samo programe, a dijelovi se u kratkom roku izrade po narudžbi kupca. Pri tome je trošak znatno manji od skladištenja gotovih doknadnih dijelova.)

- Smanjenje pripremno-završnih vremena i troška izrade (Pri uporabi klasičnih strojeva često su potrebne specijalne naprave za pozicioniranje predmeta te šablone za vođenje alata po konturi. Izrada naprava je trošak, a vrijeme do početka proizvodnje proizvoda produžuje se za vrijeme izrade naprava. Za CNC strojeve to nije potrebno jer se alat vodi mikroprocesorom po bilo kojoj složenoj putanji.)
- Mali zahtjevi za vještinama operatera (Operateri CNC strojeva trebaju znati postaviti predmet u stroj, postaviti, izmjeriti i izmijeniti odgovarajuće alate te se koristiti odgovarajućim CNC programom. To su kudikamo manji zahtjevi za vještine i znanja nego što ih treba imati operater na klasičnim strojevima koji treba znati voditi izvršavanje pojedinačnih operacija obradbe.)
- Jednostavniji alati (Na CNC strojevima alati su standardizirani te obično nema potrebe za uporabom specijalnih alata ili ruino izrađenih.)
- Stvaranje uvjeta za točnu realizaciju planova proizvodnje i povećanje produktivnosti (Primjenom CNC strojeva za izradu većih serija moguće je vrlo precizno planiranje proizvodnje, rezultat su puno manji gubitci proizvodnog vremena, a time i veća produktivnost izrade.)
- Smanjenje vremena potrebnog za kontrolu točnosti.

Nedostaci CNC strojeva

Nedostaci CNC strojeva su:

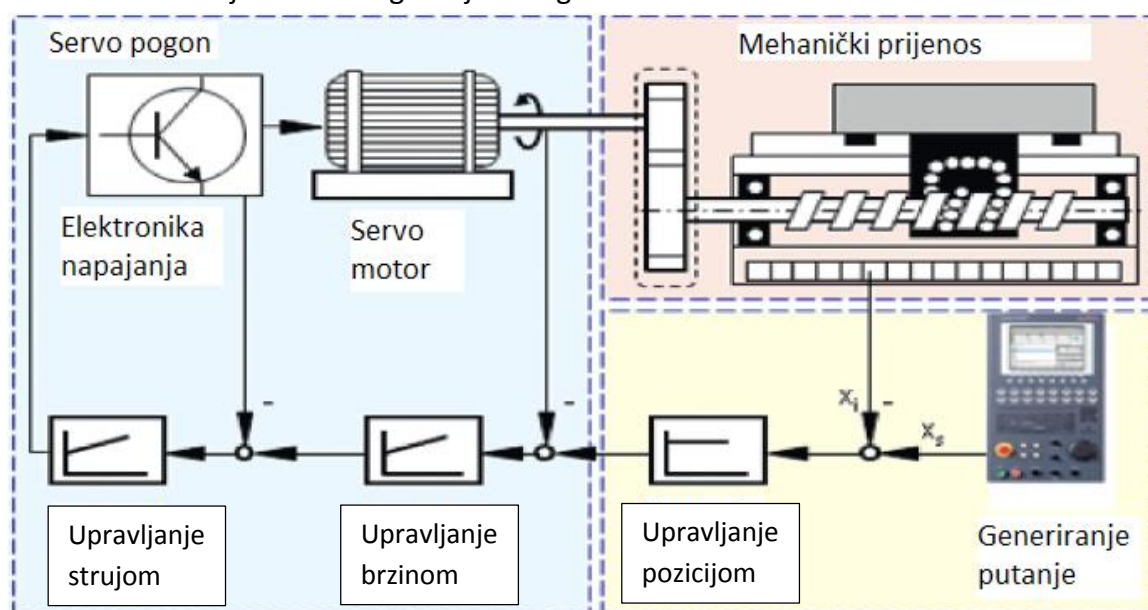
- Veliko investicijsko ulaganje (Početna ulaganja su znatno veća nego za klasične strojeve. To podrazumijeva dobru iskorištenost kapaciteta stroja kako bi se on isplatio u razumnom roku.)
- Potreba programiranja CNC stroja (Programeri su visoko obrazovani pojedinci koji moraju imati specijalistička znanja iz više područja. Takvih pojedinaca nema mnogo pa su vrlo dobro plaćeni.)
- Visoki troškovi održavanja (CNC strojevi su vrlo složeni. Stroj se mora redovito održavati kako bi zadržao svoje prednosti, a posebno točnost. Za održavanje su potrebna znanja iz elektronike i strojarstva. Zbog toga i to osoblje mora biti dobro plaćeno.)
- Neisplativost izrade jednostavnih predmeta (Predmete jednostavne geometrije u pojedinačnoj proizvodnji ili malim serijama često je jeftinije i brže izraditi na klasičnom

stroju u traženoj kvaliteti. Za njih nije potrebno pisati program, testirati ga i tek onda izrađivati proizvod.)

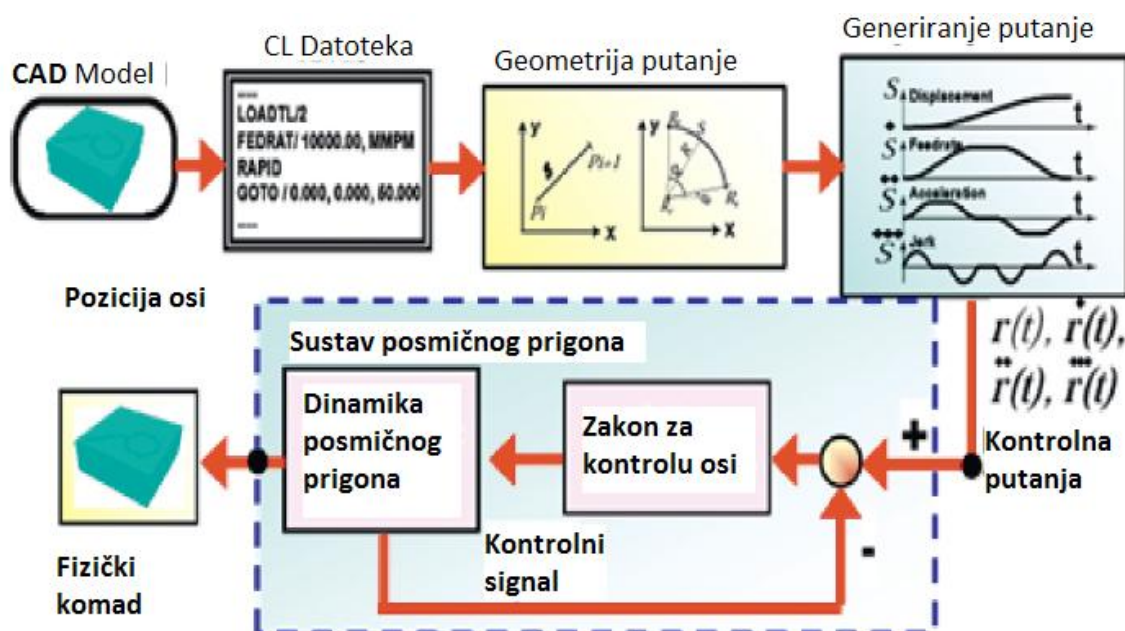
2. Prigoni alatnih strojeva

Prigon jedne osi NC stroja najčešće se sastoji od ovih komponenti:

- Numeričkog upravljanja
- Servo motora
- Mehaničkog pretvornika kružnog gibanja u translaciju (najčešće)
- Mjernog sustava za kontrolu pozicije, brzine ili napona/stuje
- Povratne veze koja zatvara regulacijski krug



Slika 3 - Fizički dijelovi sustava jedne NC osi



Slika 4 - Tok informacija pri nadzoru rada stroja

Motor

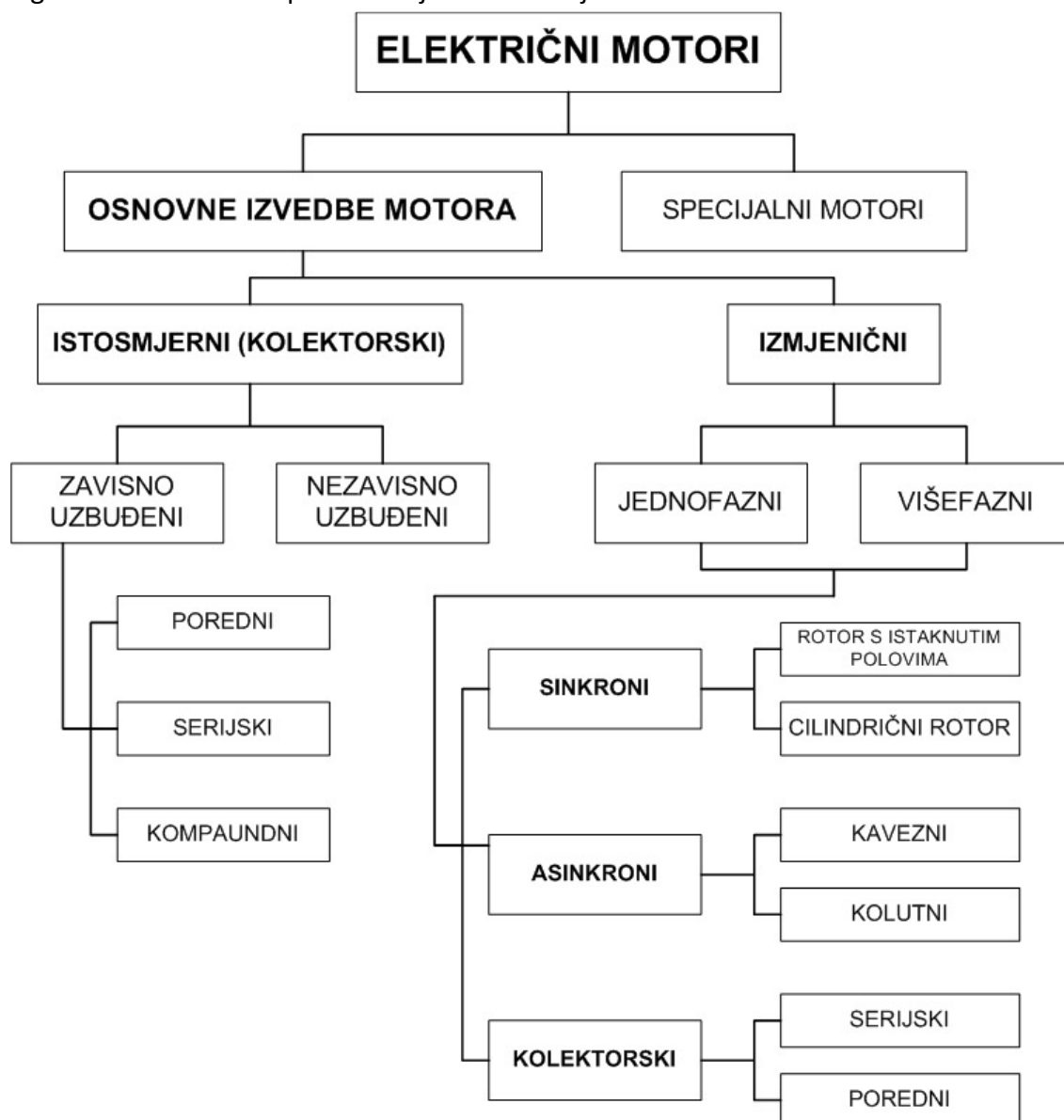
Za pogon se koristi velik broj različitih motora (slika 5). Najčešće su to sinkroni AC servo motori s permanentnim magnetom i asinkroni. Sinkroni motori se koriste za ostvarivanje posmičnog gibanja, dok se asinkroni primjenjuju za pokretanje vretena, dakle za ostvarivanje rotacijskog gibanja. Na slici 5 možemo vidjeti podjelu elektromotora koji se koriste u strojevima. Sinkroni motori su postali dominantni za ostvarivanje posmaka u 70-im godinama. Kuglična navojna vretena za velike duljine su napravljena 80-ih godina te su donijela velik pomak u upravljanju. Mehanički pretvornici rotacijskog gibanja u translacijsko zamijenjeni su kugličnim navojnim vretenom i postali su stoga nevažni. Danas se razvijaju novi koncepti električnog pogona kao što su pogon poprečnog i aksijalnog toka. Prosječni posmični pogoni imaju snage do 20 kW i brzine do 8000 min^{-1} dok se pogoni vretena kreću do 100 kW snage i brzine 20 – 60 000 min^{-1} (kutna brzina).

Glavni prigoni

Sinkroni motor s permanentnim magnetom

Sinkroni motori s permanentnim magnetom su najšire rasprostranjeni motori u upotrebi. Slično kao kod DC motora bez četkica, sinkroni motor s permanentnim magnetom ima rotor napravljen od permanentnog magneta. Ovaj motor je pokretan strujom sinusnog oblika. Motori visokog momenta mogu ostvariti moment od čak 30 000 Nm. AC motor se sastoji od kaveznog rotora i statora sa tri namota bez četkica. Prema načinu upravljanja AC motore možemo podijeliti na četiri osnovne grupe. To su kontrolom konstantnim naponom ili frekvencijom, kontrola direktnom metodom i kontrola orijentirana na magnetsko polje. Trofazni sinkroni motori s trajnim magnetima grade se do nekoliko desetaka kW s klasičnim trofaznim namotom na statoru i trajnim magnetima na rotoru. Prema smještaju magneta

izvedba rotora može biti s površinskim ili s unutrašnjim magnetima. Kako ovi motori ne trebaju struju magnetiziranja, ne stvaraju se gubici u rotoru pa imaju povoljniji faktor snage i korisnost od asinkronih motora iste snage. Rotori su lagani i malog promjera zbog čega im je moment tromosti relativno mali te imaju dobra dinamička svojstva. Na mrežu se priključuju preko statičkog pretvarača frekvencije (s obavezno malom frekvencijom pri pokretanju) koji omogućava kontinuirano podešavanje brzine vrtnje od nula do nazivne.



Slika 5 - Osnovna podjela elektromotora [2]

Asinkroni motor

Priključivanjem na izmjenični simetrični trofazni izvor kroz statorski namot poteku struje koje stvore okretno (rotirajuće) magnetsko polje. Ono rotira sinkronom brzinom vrtnje n_s i pri svojoj rotaciji presijeca vodiče statorskog i rotorskog namota u kojima se inducira napon. Struja magnetiziranja i iznos okretnog magnetskog toka upravo su takvi da se u statorskom (primarnom) namotu inducira napon E_1 koji drži ravnotežu s priključenim naponom izvora U . Iznos induciranog napona E_2 u rotorskom (sekundarnom) namotu ovisi o indukciji, brzini kojom

okretno polje presijeca vodiče rotora i o značajkama rotorskog namota. Na vodiče rotora kojima teče struja I_2 , a nalaze se u magnetskom polju, djeluje sila F koja na kraku r prema osi rotacije stvara zakretni moment M . Razvijeni moment djeluje u smjeru vrtnje okretnog polja. Smjer vrtnje trofaznog asinkronog motora može se promijeniti ako se promijeni smjer vrtnje okretnog magnetskog polja što se ostvaruje međusobnom zamjenom dva dovoda motoru. Brzina vrtnje rotora uvijek je manja od sinkrone brzine vrtnje kojom rotira okretno magnetsko polje i ovisi o opterećenju motora. U praznom hodu, kad je rotor neopterećen i kad treba savladati tek neznatne mehaničke gubitke, brzina vrtnje rotora približava se sinkronoj brzini. Kod većih mehaničkih opterećenja razlika ovih brzina je veća. Rotor asinkronog motora ne može rotirati sinkronom brzinom vrtnje. Kad bi rotor postigao sinkronu brzinu vrtnje, ne bi više bilo razlike brzina između okretnog magnetskog polja i rotora pa magnetske silnice ne bi presijecale vodiče rotora. Zbog toga se u rotorskom namotu ne bi inducirao napon, ne bi tekla struja kroz vodiče rotorskog namota i ne bi bilo djelovanja sile na vodiče rotora. Zbog toga se rotor uvijek okreće asinkrono, po čemu je ovaj motor i dobio svoj naziv. U svojoj osnovnoj izvedbi stator trofaznog asinkronog motora jednak je statoru sinkronog stroja dok se rotori razlikuju. Stator oblika šupljeg valjka sastavljen je od međusobno izoliranih tankih dinamo limova. Na unutrašnjoj strani nalaze se uzdužni utori u koje se raspoređuje trofazni namot koji se spaja u spoj zvijezda ili spoj trokut. Smjer vrtnje moguće je promijeniti međusobnom zamjenom bilo kojih dviju faza priključka izvora napajanja. Rotor čine osovina i na nju navučen rotorski paket sastavljen od tankih međusobno izoliranih dinamo limova. U uzdužnim utorima na obodu smješten je namot. Ovisno o vrsti rotorskog namota asinkroni motori mogu biti:

- kliznokolutni
- kavezni

Kliznokolutni (ili kraće kolutni) asinkroni motor ima rotorski namot izveden po istim načelima kao i statorski namot. Osnovni je zahtjev da oba namota stvaraju simetrično okretno polje, a broj faza, kao i broj pari polova, statora i rotora ne mora biti jednak. Rotorski se namot obično izvodi kao trofazni i spaja na tri klizna koluta (prstena) smještena na osovini i izolirana međusobno prema njoj. Kad rotor rotira, po kolutima klize četkice smještene u držačima postavljenim na nosače četkica. Četkice i klizni koluti zatvaraju strujni krug rotorskog namota preko otpornika smještenih izvan stroja u rotorskom uputniku (pokretaču). U trenutku pokretanja u rotorski se krug uključuje obično najveći iznos otpora dok se kod nazivne brzine vrtnje otpor isključi, a rotorski namot kratko spoji. Kolutni asinkroni motori nalaze primjenu tamo gdje zbog zahtjeva pogona nije moguće primijeniti neregulirani kavezni asinkroni motor. Prednost im je i da kod teških uvjeta pokretanja (veliki momenti tromosti) imaju, uz djelovanje rotorskog uputnika, relativno malu struju pokretanja uz istodobno veliki potezni moment. Nedostatak im je u odnosu na kavezni motor da su specifično teži i skuplji (posebice kod manjih snaga) a u pogonu osjetljiviji (klizni kontakti, trošenje četkica).

Motorvretena

Motorvreteno je nastalo integracijom AC ili DC motora sa glavnim vretenom bez spojke. Rotor namota je ujedno i glavno vreteno, a stator je kućište glavnog vretena. Motorvreteno (slika 6) je kompaktan modul, ima visoku preciznost, i jednostavno ga je ugraditi. Nedostatak motorvretena je što mora biti hladeno. Primjenjuje se kod visokobrzinske obrade, i općenito kada su potrebne visoke brzine obrade. Najčešće se grade u rasponu snage od 3 do 60 kW, okretnog momenta do 1000 Nm i brzina vrtnje između 8000 i 40000 o/min. Ovisno o vrsti obrade i zahtjevima izvedbe mogu biti s različitim kućištima, različitim tipovima motora, sustavima uležištenja, vretena, automatiziranim prihvatom alata, itd., zatim u horizontalnoj, vertikalnoj izvedbi, smješteni u kutnoj glavi, ugradbenim dimenzijama prema zahtjevima korisnika, različitim sustavima upravljanja i regulacije itd.



Slika 6 - Motorvreteno [HSTEC d.d.]

Motor s reduktorom

Procesi koji traže visoki moment vrtnje i niži broj okretaja u pravilu se pogone brzim motorima koji se najčešće direktno ugrađenom prijenosnikom kombiniraju u motore s reduktorom. Reduktor može biti izveden s ravnim i kosim ozubljenjem, kao planetarni, pužni ili harmonički prijenosnik. Za pogon u suvremenim alatnim najčešće se koristi planetarni prijenosnik zbog kompaktne konstrukcije i zadovoljavajućeg prijenosnog omjera. Reduktor može biti izveden

kao zasebna cjelina na čiju prirubnicu se priključi motor prema standardnim mjerama ili se direktno ugrađuje u motor. Najčešće se koriste kod posmičnih pogona gdje je potrebno postići visoki okretni moment, tj. kod velikih pokretanih masa, dok se rjeđe koriste kod glavnih pogona. Jedan od primjera primjene motora s ugrađenim reduktorom kod glavnih pogona je motorvreteno za grubu obradu odvajanja materijala glodanjem u kojem se planetarni prijenosnik smjestio na stražnjoj strani i koji se po potrebi može isključiti.

Posmični prigon

Linearni motor

Linearni motor možemo gledati kao rotacijski koji je prerezan po osi i razmotan i razvučen po duljini. Direktni pogoni pokretani linearnim motorom imaju visoku mehaničku krutost, malu inerciju i nemaju zazora. Osnovni dio linearnog motora sličan je statoru asinkronog s permanentnim magnetom, dok drugi dio ima permanentne magnete. Direktni pogoni s linearnim motorima pružaju novu dimenziju produktivnosti kroz povećanu dinamiku i povećanu točnost. U mnogim pogonima potrebno pravocrtno gibanje postiže se uz primjenu rotacijskih motora pomoću pretvorbenih kinematičkih uređaja (pužni prijenos, navojno vreteno, ekscentar i dr.). Linearni motor ostvaruje pravocrtno gibanje neposredno te ovakve dodatne elemente zajedno s njihovim trenjem, gubicima, momentom tromosti, održavanjem i bukom čini suvišnim. U praksi se susreću različite izvedbe: na sinkronom i asinkronom načelu, s trajnim magnetom i reluktantni, kolektorski i bezkolektorski, sa i bez željezne jezgre, koračni, itd. Uz motor nužan je elektronički uređaj za upravljanje koji omogućuje upravljanje i nadzor brzine i položaja. Linearni motori pretvaraju energiju na istim načelima kao i odgovarajući rotacijski strojevi. Razlikuju se primarni i sekundarni dio, a svaki od njih može biti pomičan. Potrebna energija dovodi se namotima primara. Zamisli li se stator i rotor uzdužno presječen i razvijen u ravninu, gibanje motora prema statoru pretvara se u pravocrtno gibanje – tako nastaje linearni motor. Posmična sila kod linearnih motora ograničena je nedostatkom mogućnosti koji omogućava prijenosni omjer. Maksimalna posmična sila modernog sinkronog linearnog motora iznosi danas oko 22 000 N po primarnom dijelu. Za povećanje sile moguće je u jednoj osi mehanički spojiti dva ili više linearnih motora. Mogućnost ubrzanja je za razliku od pogona sa kugličnim navojnim vretenom obrnuto proporcionalna linearno pokretanoj masi. Pokrenute mase mogu iznositi više tisuća kilograma, ali tada linearni motor gubi svoje dinamičke prednosti u usporedbi s elektromehaničkim pogonom s kugličnim navojnim vretenom. Danas linearni motori postižu brzinu od 120 m/min a ubrzanje 10-20 m/s² kod posmičnih pogona (ograničenja u mehaničkim dijelovima) dok kod pomoćnih pogona i primjena u manipulaciji brzine iznose do 300 m/min, a ubrzanja do 80 m/s².

Hibridni motor

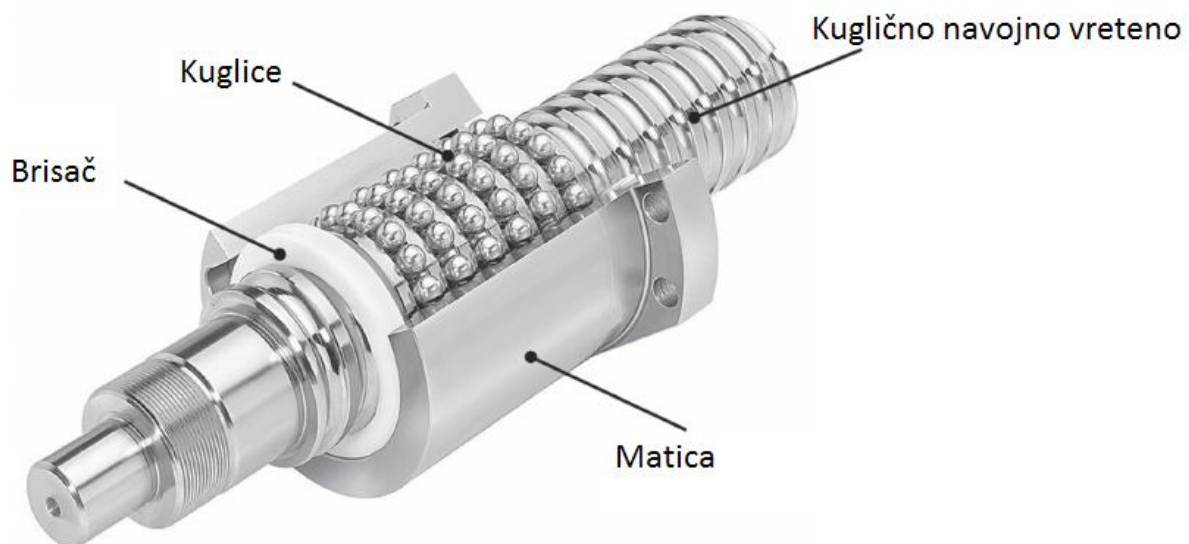
Čini ga kombinacija dvaju pogona i radi se kada imamo posebne zahtjeve za pogon. Pošto linearnim motorima trebaju permanentni magneti za cijeli poprečni presjek, a magneti su

skupi, pa se oni ne postavljaju na strojeve velikih dimenzija jer konstrukcija može biti složena i skupa. Umjesto toga se radi s "nevažnom" osi. Za pokretanje cijele osi koristi se kuglično (slika 7) vreteno, te se postavlja dodatni direktni pogon da bi se poboljšale dinamičke karakteristike osi. Kretanja oba pogona su u kinematskoj vezi i kontrolira im se pozicija u koju dovode vrh alata. Budući da su linearni pogoni sposobni za ostvarivanje ubrzanja i do 10g javljaju se jake reakcijske sile na krevetu stroja. Jedan od načina za kompenzaciju ovih sila je ubrzavanje drugog klizača na istoj vodilici u suprotnom smjeru.

Mjerni sustav

Jedna od najčešćih podjela mjernih sustava je sljedeća:

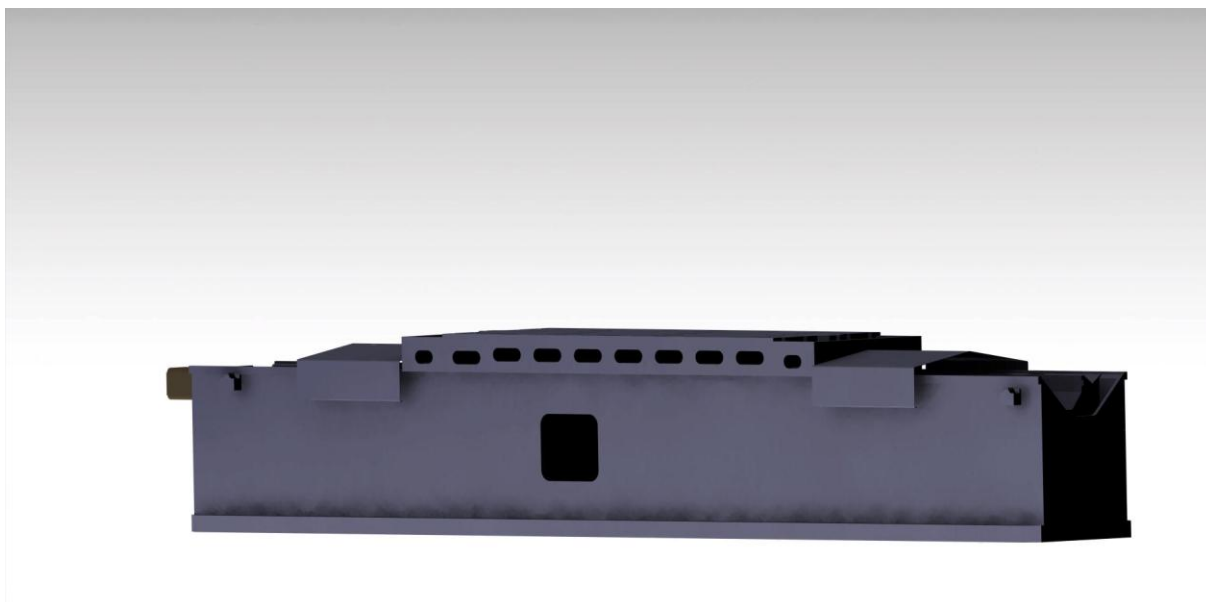
- a) Prema principu rada
 - 1. Analogni
 - 2. Digitalni
- b) Prema načinu mjerenja
 - 1. Apsolutni
 - 2. Inkrementalni
- c) Prema mjestu ugradnje
 - 1. Izravni (direktni)
 - 2. Posredni (indirektni)
- d) Prema izvedbi
 - 1. Pravocrti (linearni)
 - 2. Kružni (rotacijski)



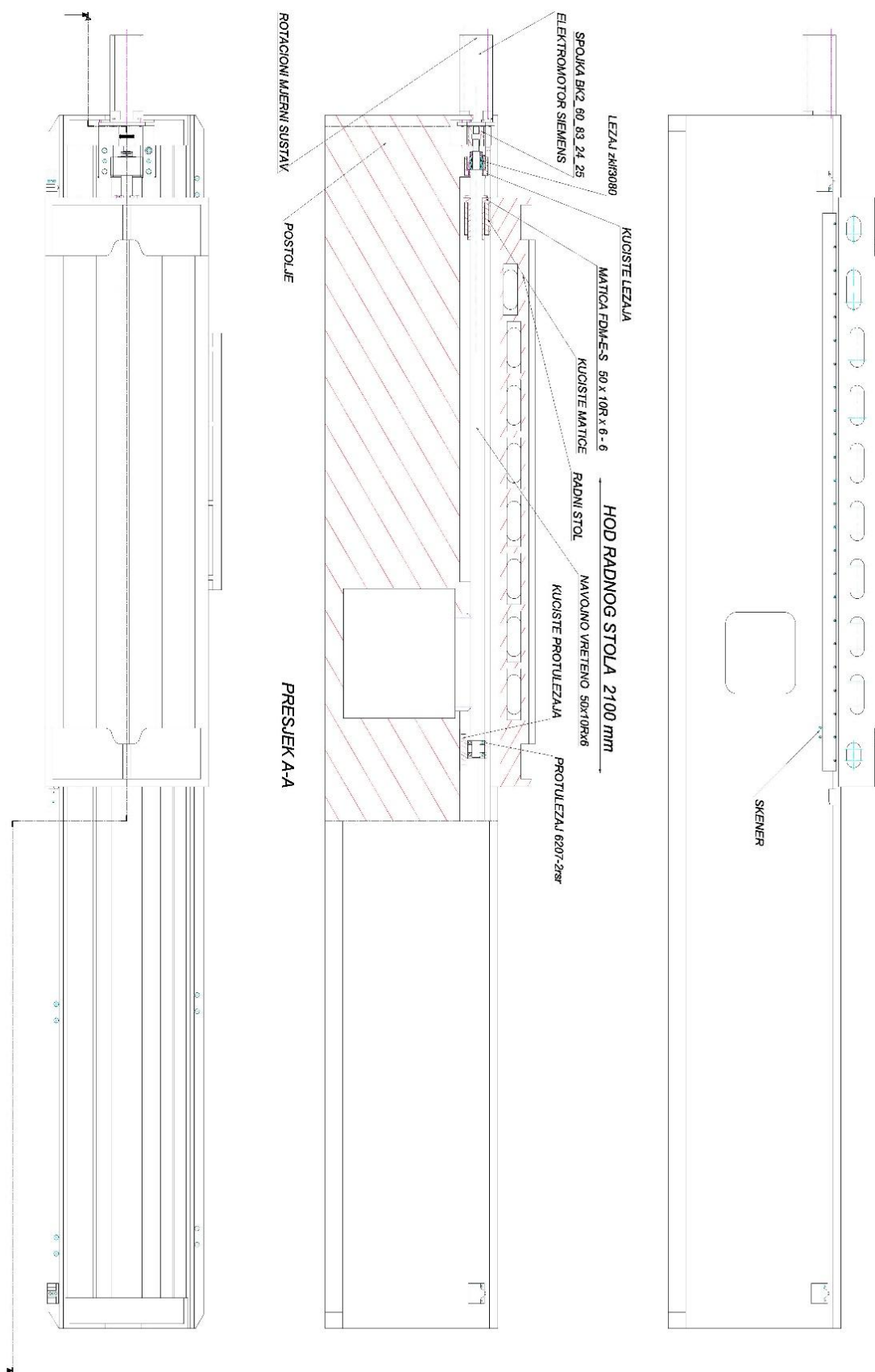
Slika 7 -Kuglično vreteno

3. Projektiranje horizontalne osi blanjalice sa mjernom letvom

U ovom poglavlju će biti riječi mjernom sustavu korištenom na horizontalnoj osi blanjalice (slika 8 i slika 9). Mjerni sustav sada čini rotacioni davač pozicije. Rotacioni davači pozicije se ugrađuju na motoru, dakle prije mehaničkog sklopa sa radnim stolom. To znači da takav rotacioni davač zanemaruje gubitke koji nastaju uslijed stupnja djelovanja matice, ležajeva, samog vretena, odnosno zanemaruju se svi gubici koji nastaju u sustavu nakon motora. Zbog toga takav mjerni sustav nikad ne može biti točan. Mjerna letva s mjeračem daje informaciju o apsolutnoj poziciji radnog stola. Mjerenje se vrši direktno na stolu jer je mjerna letva fizički spojena sa stolom i pomiče se zajedno sa njim.



Slika 8 - Horizontalna os blanjalice



Slika 9 - Kompozicija posmične osi

Na slici 9 je prikazana horizontalna os blanjalice sa svojim osnovnim komponentama.

Pogonski sustav

Motor koji pokreće ovu os je Siemens 1FT 5076 0AC01 0Z. To je servo motor s permanentnim magnetom.

- Nazivni moment $M_0 = 20,0/25,0$ Nm
- Nazivna struja $I_0 = 28,5/35,5$ A
- Snaga $P = 2,93$ kW
- Učestalost vrtnje $n = 2000$ min⁻¹

Na slici 10 vidimo taj motor:



Slika 10 - Siemens 1FT 5076 0AC01 0Z [3]

Senzor

Zašto je važno mjeriti poziciju?

Produktivnost i točnost obradnih alata su važni aspekti u tržišnoj utrci. Cilje je povećati produktivnost a da pritom ne gubimo na preciznosti i kvaliteti. Brze promjene uvjeta obrade otežavaju povećavanje produktivnosti i točnosti. Pri proizvodnji se teži sve većoj raznovrsnosti proizvoda koji imaju veću kvalitetu, a istovremeno treba ostvariti ekonomičnu proizvodnju. U zrakoplovnoj industriji treba s jedne strane ostvariti veliki kapacitet proizvodnje pri gruboj obradi, dok s druge strane završna obrada mora biti visokoprecizna. Kod glodanja terba istovremeno imati alate koji će ostvariti visoku produktivnost kod grube obrade i male gubitke materijala, te vrhunsku završnu obradu. Kod svih obrada se može vidjeti ova tendencija za raznovrsnosti obradnih sustava.

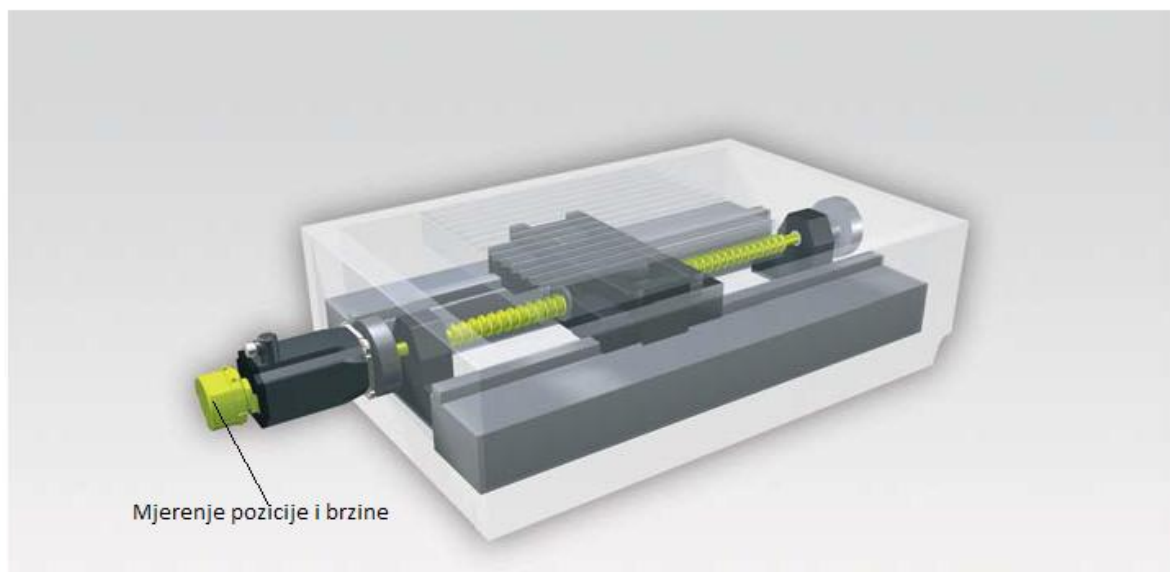
Sve veća važnost se pridaje termalnoj točnosti alata, stoga što se njihove karakteristike mogu znatno mijenjati tokom proizvodnje. Pri obradi termalni uvjeti mogu jako varirati. Ovaj problem je posebno prisutan u proizvodnji u malim serijama kod kojih se često mijenjaju

obrade. U ovakvoj proizvodnji je nemoguće postići termalnu stabilnost, odnosno ne mogu se osigurati konstantne temperature elemenata sustava. Stalno mijenjanje operacija kao bušenje, gruba obrada, završna obrada pridonosi promjenama termalnih uvjeta rada. Pri guboj obradi posmične brzine mogu biti velike, dok pri završno su češće male. Te česte promjene u posmičnoj brzini uzrokuju zagrijavanje kugličnog vretena. Kod posmičnih osi stroja mjerenje pozicij ima ključnu ulogu u stabilizaciji toplinskog ponašanja alata. On prilagođava obradu da bi se i sa promjenjenim uvjetima imala ista kvaliteta obrade.

Mjerenje posmične pozicije

Pozicija posmične osi može biti mjerena pomoću kugličnog vretena u kombinaciji s rotacijskim davačem pozicije, ili s linearnim mjernim sustavom (najjednostavnije i najčešće izvedbe).

Ako se pozicija određuje iz uspona vretena i rotacijskog davača pozicije (Slika 11), tada vreteno mora obavljati dva zadatka. U ulozi pogonskog sustava mora prenositi velike sile, ali kao mjerni sustav očekuje se da daje veliku točnost mjerenja i prati uspon vretena. Međutim, kontrolna petlja uključuje samo rotacijski davač pozicije. Uslijed promjena u pogonskoj mehanici zbog istrošenosti ili temperature nema kompenzacije putanje alata, te se to zove poluzatvorena operacija. Greške u pozicioniranju postaju nezaobilazne i mogu imati značajan utjecaj na kvalitetu izratka.



Slika 11 - Poluzatvorena petlja [1]

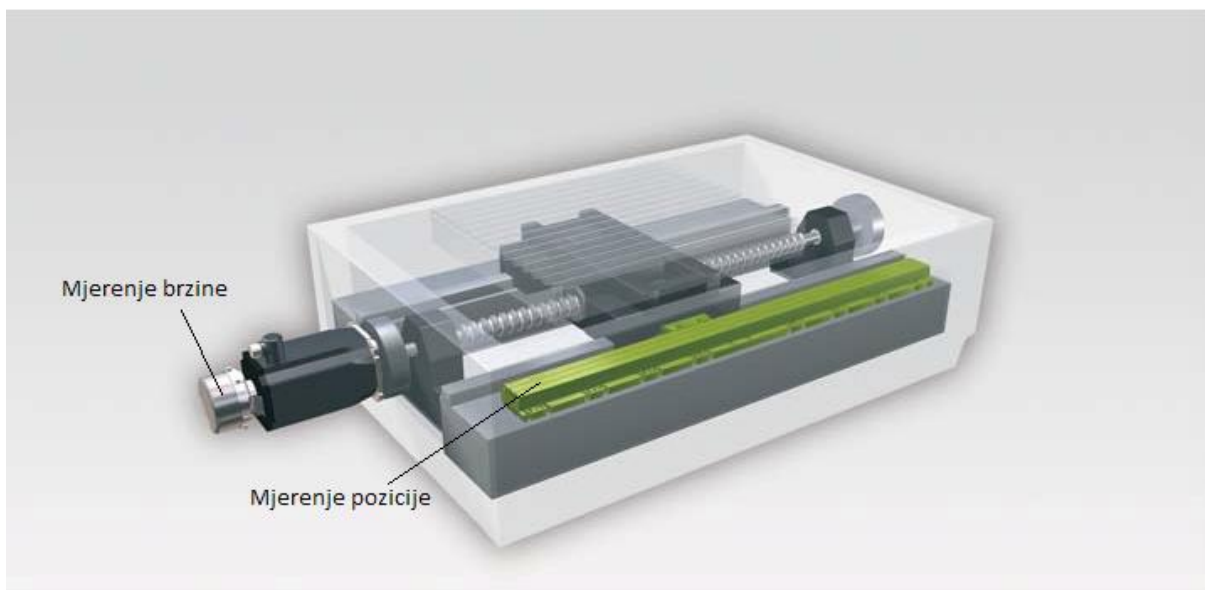
Da bi se spriječilo zagrijavanje kugličnog vretena i elemenata koji okružuju vreteno, neka vretena imaju šuplju sredinu kroz koju cirkulira tekućina za hlađenje. U poluzatvorenoj petlji pozicioniranje ovisi o toplinskom širenju vretena koje pak ovisi o temperaturi rashladnog sredstva. Ako se temperatura povisi za 1 K pozicijske greške mogu iznositi do 10 μm na

poprečnom presjeku od 1 m. Rashladna sredstva ne mogu zadržati promjenu temperature ispod 1 K.

Za pogone u poluzatvorenoj petlji često se koriste modeli u kontroli kojim se aproksimiraju greške koje bi nastale zbog toplinskog širenja vretena. Ovdje je potrebno napraviti model u koji će biti uključen profil temperature koji je teško mjeriti tokom obrade. U model treba uključiti i razne druge utjecaje kao što su trošenje vretena i priključnih elemenata, posmična brzina, rezne sile, duljina vretena. Sve to može dovesti do grešaka koje iznose do 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ ako se koristi ova metoda.

Kuglično vreteno se ponekad ugrađuje sa fiksnim ležajevima na oba kraja što povećava krutost pogonskog sustava. Ali čak i jako kruti sustavi ne mogu spriječiti širenje zbog lokalnog porasta temperature. Nastale sile su velike i one mogu deformirati i najkruće sustave ležajeva. Te sile mogu čak uzrokovati distorzije u geometriji cijelog uređaja. Mehanička napetost također mijenja trenje pogonskog sustava, i stoga utječe na točnost konture alata. Zbog ovih ograničenja pogonska točnost nikada neće biti kao u slučaju mjerenja linearnim sustavom, čak i kada koristimo dodatna mjerenja. Također, dodatna mjerenja ne mogu kompenzirati utjecaje promjena pri preopterećenju ležajeva uslijed trošenja ili elastičnih deformacija pogonskog sustava.

Pozicija posmične osi može biti mjerena i linarnim mjerni sustavom. U tom slučaju postoji zatvorena petlja (slika 12) što znači da postoji kompenzacija putanje alata. Netočnosti koje nastaju na elementima prijenosa gibanja nemaju utjecaja na mjerni sustav. On gotovo isključivo ovisi o svojoj preciznosti mjestu ugradnje. Ovo pravilo se primjenjuje kako na linearne tako i na rotacijske osi, gdje pozicija može biti mjerena mehanizmom redukcije brzine spojenim na rotacijski davač pozicije na motoru ili s visokopreciznim rotacionim davačem pozicije na samoj osi. Značajno veće točnosti i konstantnost gibanja se postižu ako se koriste rotacioni davači pozicije.

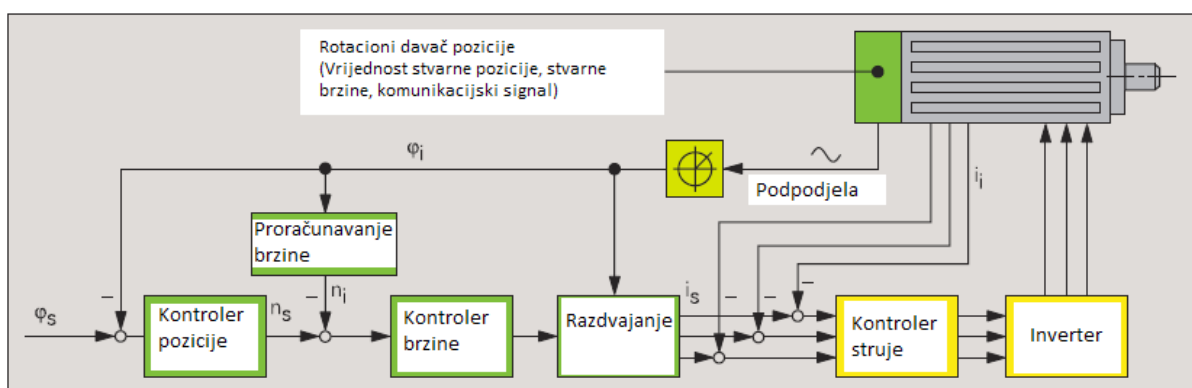


Slika 12 - Zatvorena petlja [1]

Na motoru je ugrađen rotacioni davač pozicije. On je važan jer govori motoru kada se treba prestati vrtjeti, odnosno kada smo stol doveli u željenu poziciju. Karakteristike davača pozicije imaju ključan utjecaj na rad motora jer određuju:

- Točnost pozicioniranja
- Konstantnost učestalosti vrtnje
- Propusnost – koja određuje vrijeme reakcije vodećeg signala i sposobnost odbacivanja smetnji
- Gubitak snage
- Buku

Na slici 13 vidimo konstrukciju kutnog davača pozicije kroz algoritam.



Slika 13 - Kontrola brzine i digitalne pozicije [4]

Ležajevi i spojka su integrirani u jednu cjelinu. Osovina kojoj treba mjeriti kružni pomak je spojena direktno na osovину senzora. Tako je osiguran vrlo krut spoj koj onemogućava

utjecaje dinamike kretanja na mjerenje pozicije. Postoje i mnoge druge izvedbe mjerenja pozicije rotacionim davačem pozicije.

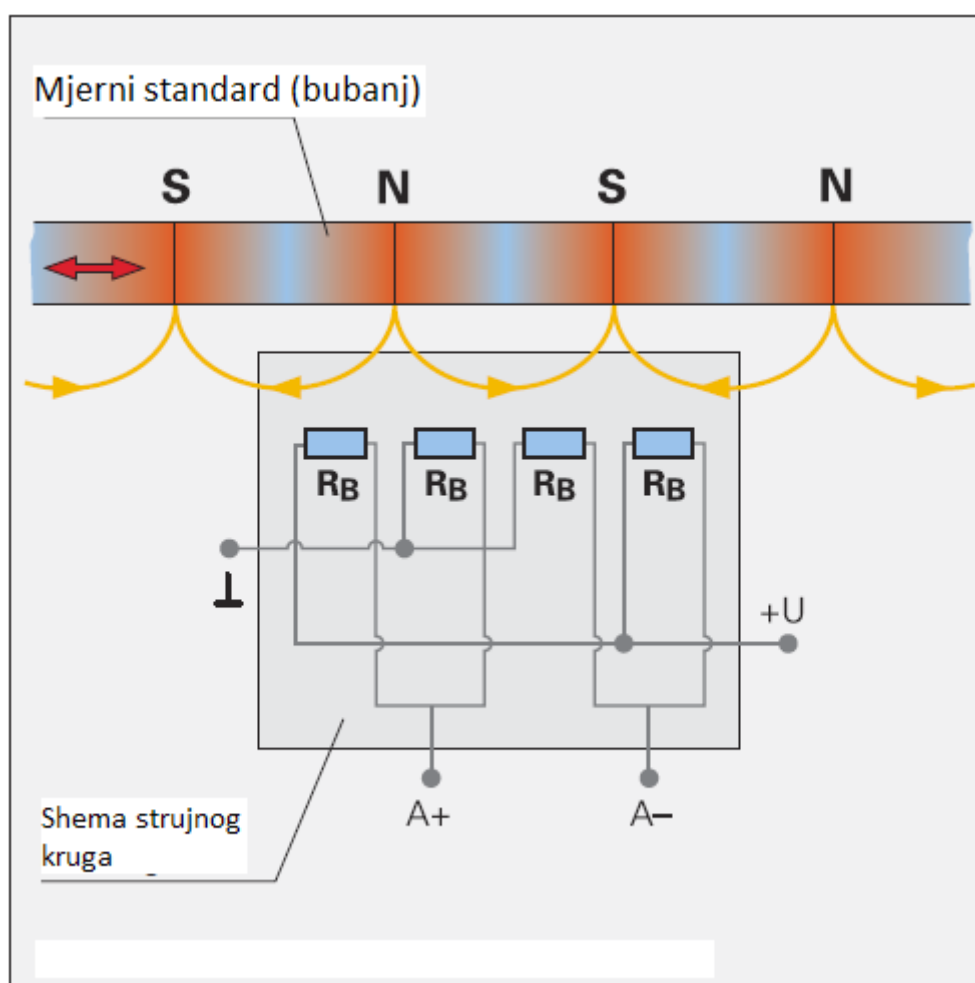
Alternativni načini mjerenja pozicije

Magnetski modularni rotacijski davači pozicije (mehanička konstrukcija objašnjena je na konkretnom primjeru modela serije ERM 2400 - Heidenhain)

Modularni davač pozicije ERM 2400 sastoji se od bubnja s kružnom skalom i pripadajuće skenerske glave. Unutrašnjost bubnja je posebno izrađena kako bi se osigurala stabilnost čak i pri najvećim brzinama.

Načelo rada

Skala na bubnju je magnetizirana, a skener je magnetosenzibilan (mjerni standard MAGNODUR). Tokom vrtnje bubnja dolazi do promjena polova magnetskog polja koje se mjere sa magnetootpornim sensorima (slika 14). Ova vrsta senzora se koristi kada su zahtjevi za točnost relativno mali. Primjenjuju se kod alata i pribora velikih promjera. Ovaj senzor je robustan, te je stoga prilagođen za eksploataciju u težim uvjetima rada, kada uslijed obrade nastaje puno odvojene čestice i kada se koristi rashladna tekućina.



Slika 14 - Princip magnetootpornog skeniranja

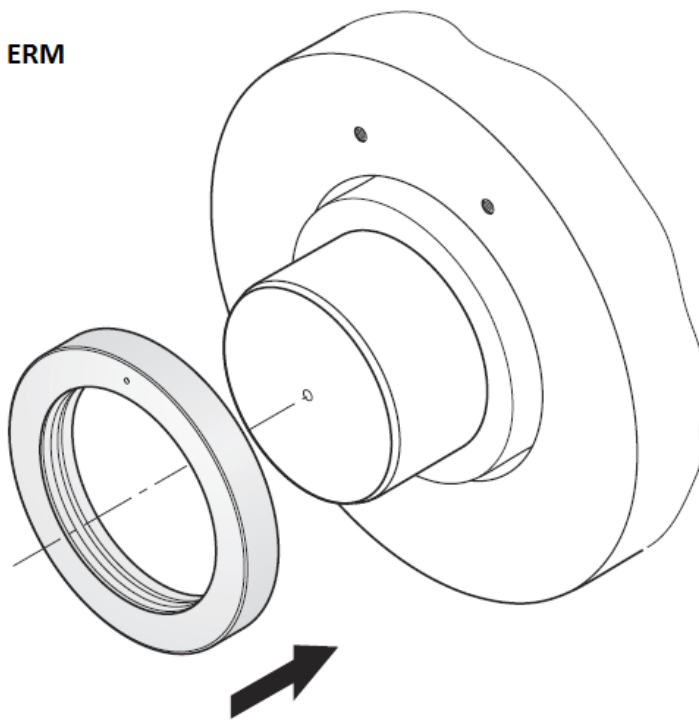
Problem magnetskih modularnih davača pozicije je isti kao i kod svih ostalih davača pozicije koji rade na principu rotacije, a to je problem zanemarivanja mehaničkih grešaka sustava koje nastaju zbog mehaničkih gubitaka. Ovaj davač pozicije radi u drugačijim uvjetima od onih koji su prisutni na našem stroju, a njegova namjena je za druge strojeve. Zbog ovih razloga ga nećemo ugraditi na blanjalicu.

Prednost ovoga davača pozicije je njegova modularna izrada, jednostavna ugradnja

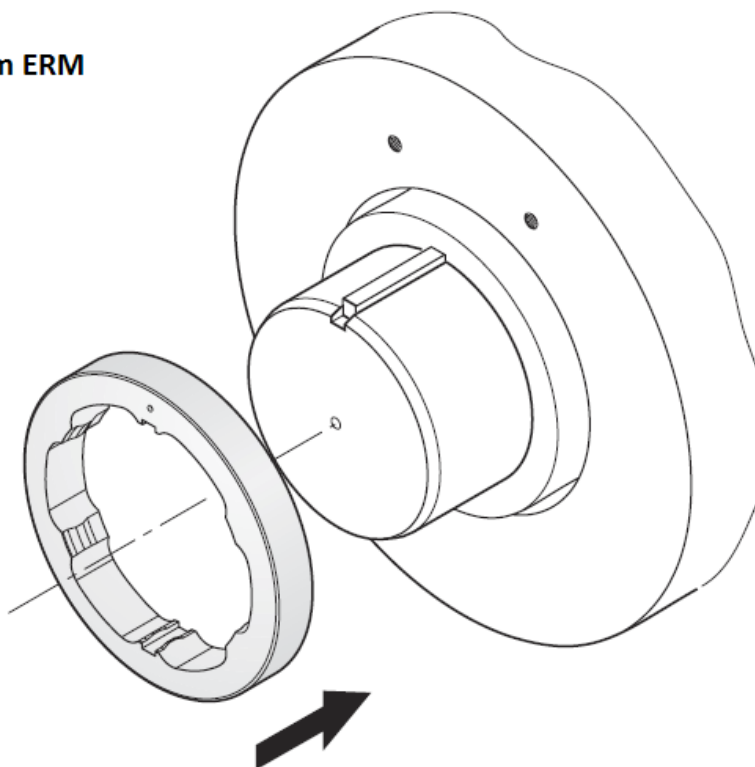
Ugradnja

Bubanj se navuče na osovinu i učvrsti kao na slici 15 i 16. Bubanj se centrira sa ovratnikom na unutarnjoj strani. Da bi ekscentričnost koja je nastala uslijed ugradnje sveli na minimum, a s time u svezi i rezultirajuće devijacije u mjerenju, razmak između ovratnika za centriranje i osovine mora biti što manji. Učvršćivanje bubnja ovisi o vrsti ugradnje. Sila pritezanja mora biti raspoređena jednoliko na površinu bubnja. Sila trenja mora biti dovoljno jaka da onemogući neželjenu vrtnju ili pomicanje u aksijalnom i radijalnom smjeru.

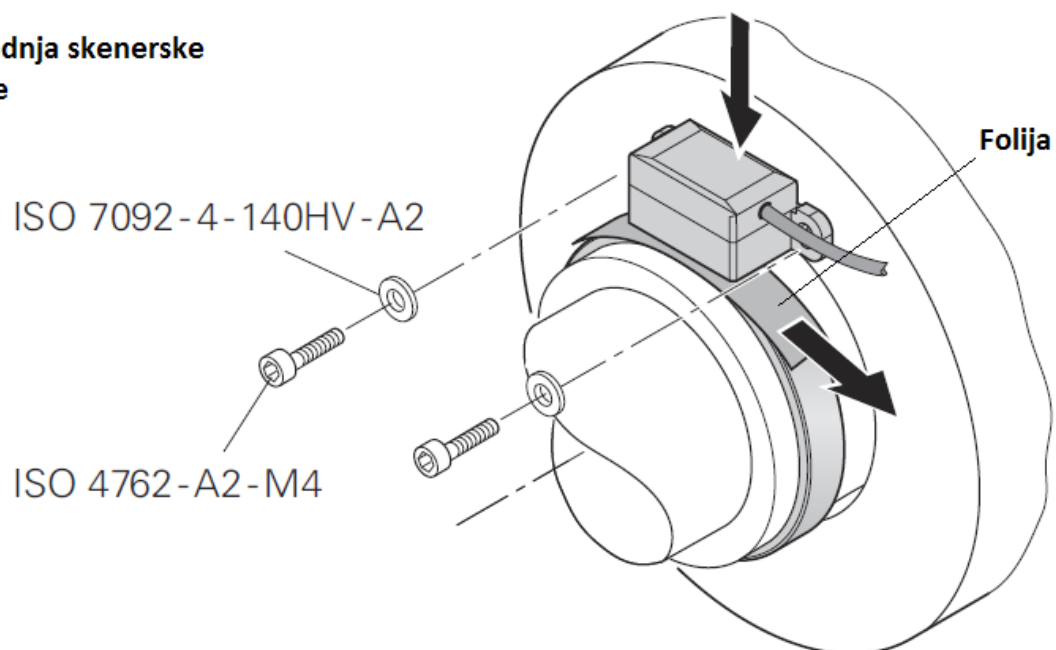
Ugradnja bubnja sa skalom ERM 2404



Slika 15 - Ugradnja bubnja sa skalom ERM 2404

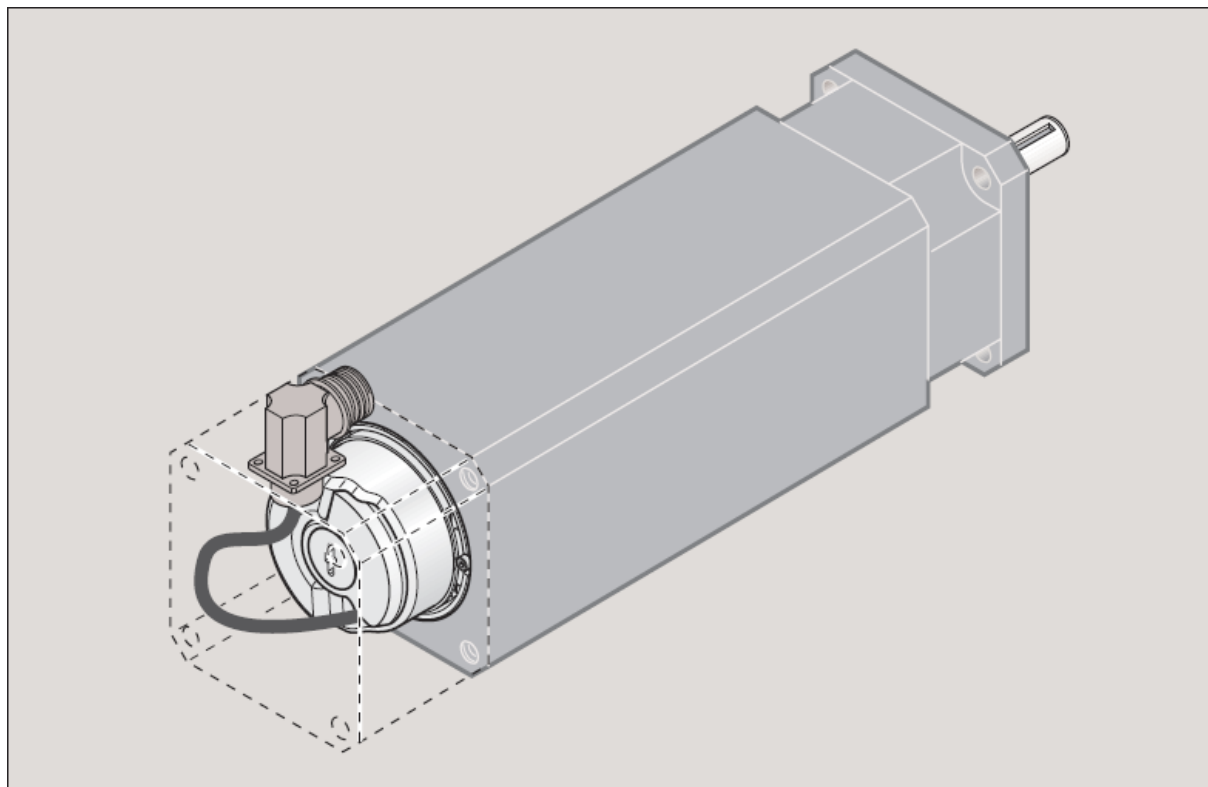
**Ugradnja bubnja sa skalom ERM
2405****Slika 16 - Ugradnja bubnja sa skalom ERM 2405**

Kod ugradnje skenerske glave (slika 17) se koristi razdjelna folija koja se stavlja na površinu bubnja s vanjske strane. Skenerska glava se potom pritišće na foliju, učvršćuje te se potom folija ukloni.

**Ugradnja skenerske
glave****Slika 17 - Ugradnja skenerske glave**

Rotacioni davač pozicije integriran u motor (horizontalne osi blanjalice, sustav trenutno u funkciji).

Kod motora bez zasebne ventilacije, rotacijski davač pozicije je ugrađen u kućište motora (slika 18). Takva konfiguracija ne postavlja stroge zahtjeve zaštite za davač pozicije. Radna temperatura u motoru može doseći do 100°C. Ovaj davač pozicije, kao i prošli, nije imun na mehaničke greške, te ga je stoga potrebno zamijeniti.



Slika 18 - Rotacioni davač pozicije integriran u kućištu motor

Rotacijski davač pozicije sa unutarnjim ležajem i spojkom je spojen direktno na osovину kojoj se mjeri pomak. Skener se vodi na osovini preko kugličnih ležajeva. Za vrijeme kutnog ubrzanja osovine spojka mora apsorbirati samo moment koji je nastao zbog trenja u ležaju, te tako smanjiti statičke i dinamičke greške. Također, spojka kompenzira i aksijalni pomak mjerene osovine.

Prednosti spojke su još:

- Jednostavna ugradnja
- Male dimenzije
- Visoka prirodna frekvencija spojke

Rotacijski davač pozicije s integriranim ležajem u kombinaciji s odvojenom spojkom su dizajnirani sa punom osovinom. Preporuča se navedena spojka kako bi se kompenzirale greške zbog radijalnih i aksijalnih pomaka. Rotacijski davači pozicije koji imaju odvojenu spojku koriste se kod većih brzina vrtnje osovine. Rotacijski davač pozicije bez integriranog ležaja rad bez

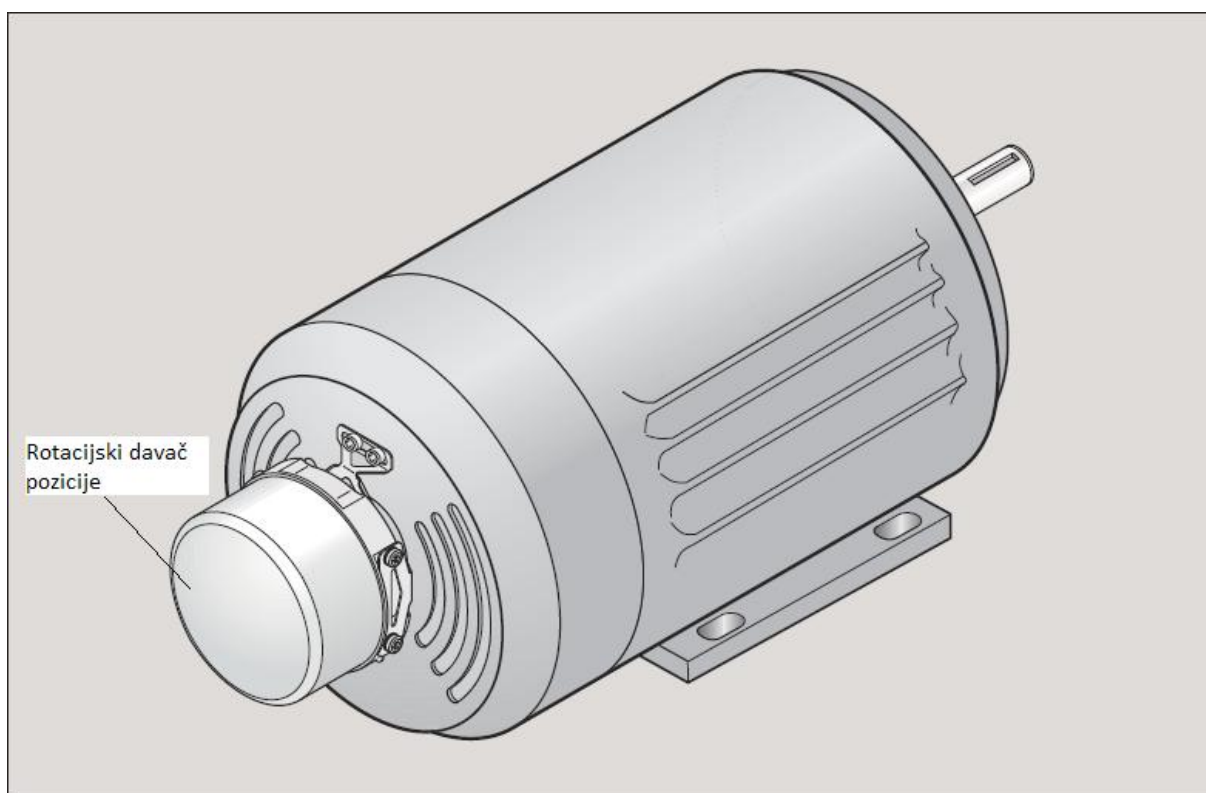
trenja. Dvokomponentni sustav koji se sastoji od skenera i diska sa skalom, bubnja ili trake se namješta tokom ugradnje.

Prednosti takvog sustava su korištenje kod:

- Veliki promjer šuplje osovine
- Velikih brzina vrtnje osovine

Rotacijski davač pozicije na motoru (s valnjske strane, slika 19).

Ovakav davač pozicije se nalazi na vanjskoj strani kućišta motora i često se nalazi na putu struje zraka koju u motor uvlači ventilator. Ostale karakteristike su mu jednake kao i davaču pozicije objašnjenom u prethodnom poglavlju.

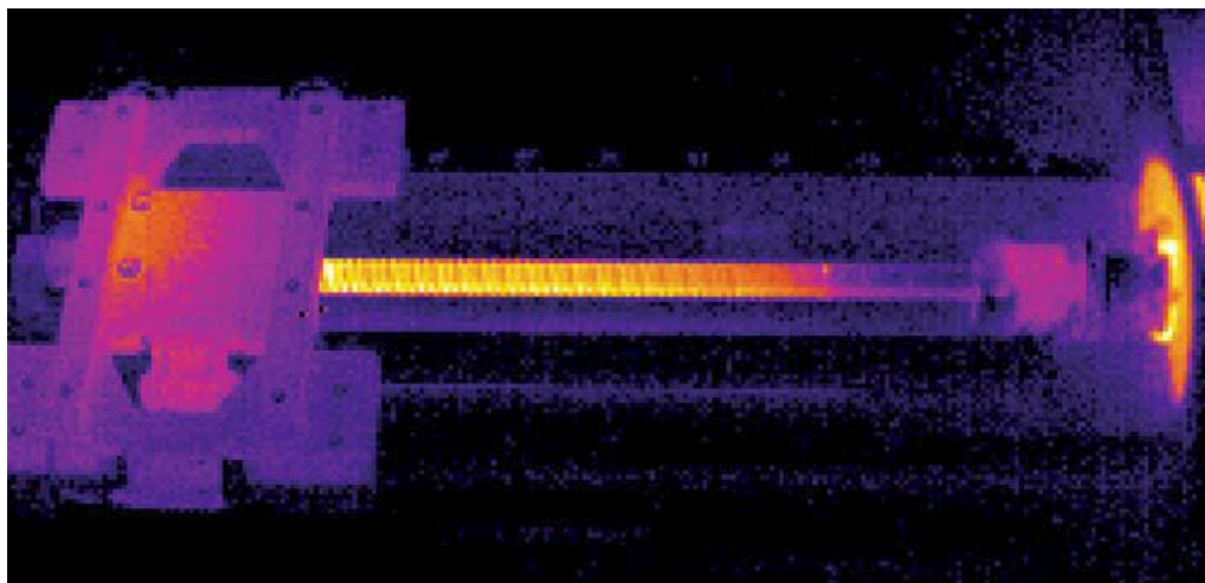


Slika 19 - Rotacijski davač pozicije ugrađen na kućištu motora

Toplinska stabilnost

U izradi alata danas sve više na važnosti dobivaju problemi koji nastaju zbog toplinskih devijacija obradaka te je potrebno naći rješenja da bi imali kvalitetnu obradu. U eksploataciji postoje već neka rješenja kao: aktivno hlađenje, simetrična konstrukcija elemenata strojeva, mjerenje temperature. Toplinske promjene se najčešće javljaju na kugličnom vretenu uslijed recirkulacije kuglica pri promjeni brzine i smjera vrtnje. Raspodjela topline duž vretena se može drastično mijenjati zbog brzine vrtnje i sila u vretenu. Na alatnim strojevima koji nemaju linearne mjerne sustave (mjerne letve) ove toplinske promjene mogu dovesti do promjena u duljini (najčešće: 100µm/m u 20 minuta) te tako uzrokovati značajne greške na obratku.

Linearni mjerni sustavi bi mogli u ovom slučaju omogućiti pravovremeno uočavanje nastale greške i prilagodbu putanje alata.



Slika 20 - Zagrijavanje kugličnog vretena

■ - 25°C ■ - 40°C

Na slici 20 je prikazano zagrijavanje kugličnog vretena pri obradi glodanjem u više prolaza. Posmična brzina je iznosila 10 m/min. Termografski interval slike iznosi 25°C – 40°C.

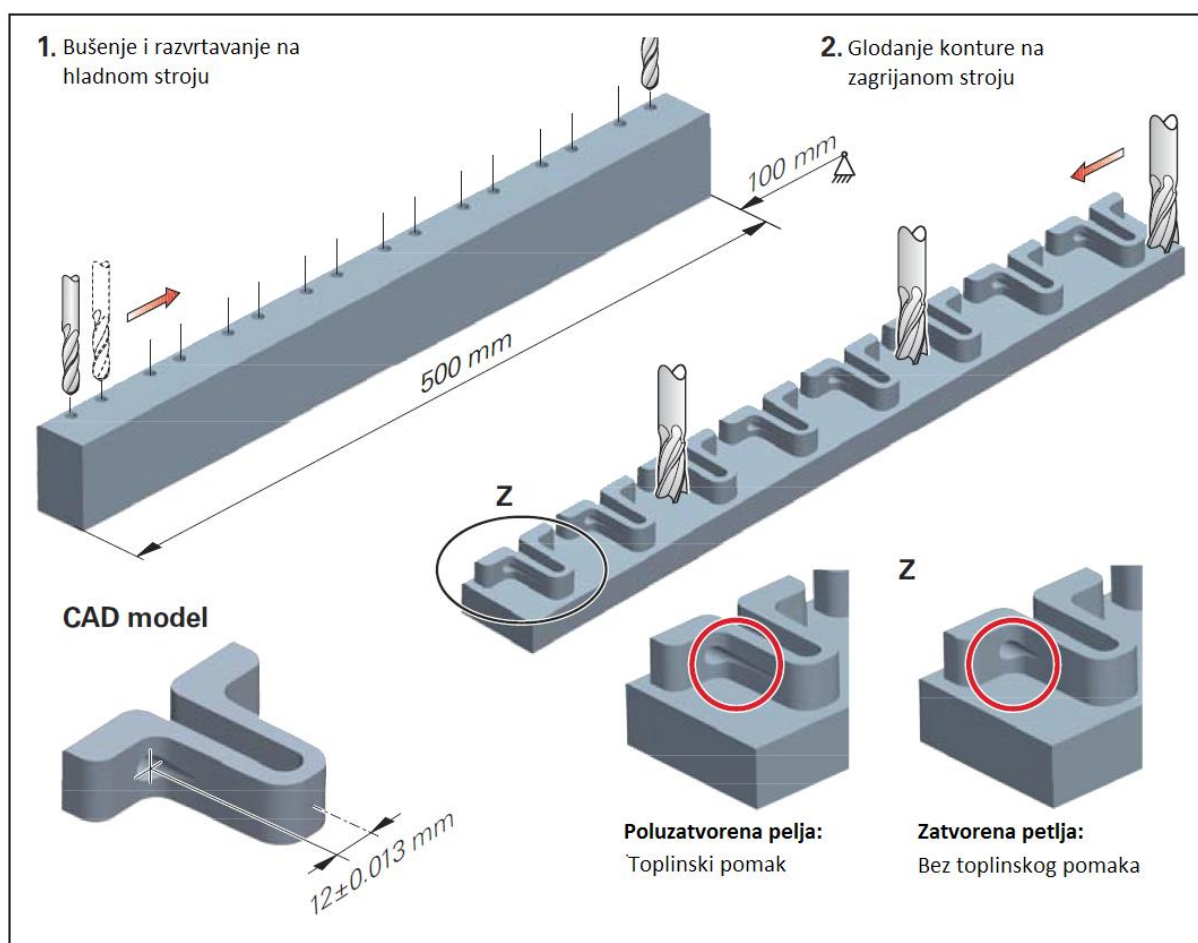
Utjecaj točnosti pogonskog sustava na izradu dijelova

U industriji izrade alatnih strojeva bilježi se sve veća potreba za malim dijelovima rađenim u malim serijama. Zbog toga želimo da nam proizvodnja bude precizna već pri prvom komadu, kako bi smanjili troškove a povećali profitabilnost. To predstavlja velik izazov alatima za visokopreciznu proizvodnju malih serija. Konstantne promjene u postavkama obratka, bušenja, grube obrade i fine obrade uzrokuju promjene u toplinskom stanju stroja, koje smo opisali u prethodnom poglavlju.

Najčešće korištene posmične brzine pri gruboj obradi iznose između 3 m/min i 4 m/min, dok te brzine pri završnoj obradi iznose između 0,5 m/min i 1 m/min. Prosječnu brzinu kojom se alat kreće uvelike povećavaju brza poprečna gibanja pri izmjeni alata. Srednje brzine koje se ostvaruju pri gruboj i finoj obradi su puno manje te ih se iz tog razloga može zanemariti kod kugličnih navojnih vretena. Zbog jako varirajućih posmičnih brzina, raspodjela temperature na vretenu se mijenja s promjenom procesa obrade. Kod mjernog sustava s poluzatvorenom petljom ove varijacije mogu dovesti do netočnosti na obratku, čak i kad se obradak radi u jednom stezanju, kako je i prije već spomenuto. Da bi izbjegli greške potrebno je imati linearni mjerni sustav u zatvorenoj petlji kojim se može ostvariti visoka točnost izrade malih komada.

Primjer: Izrada više dijelova iz sirovca

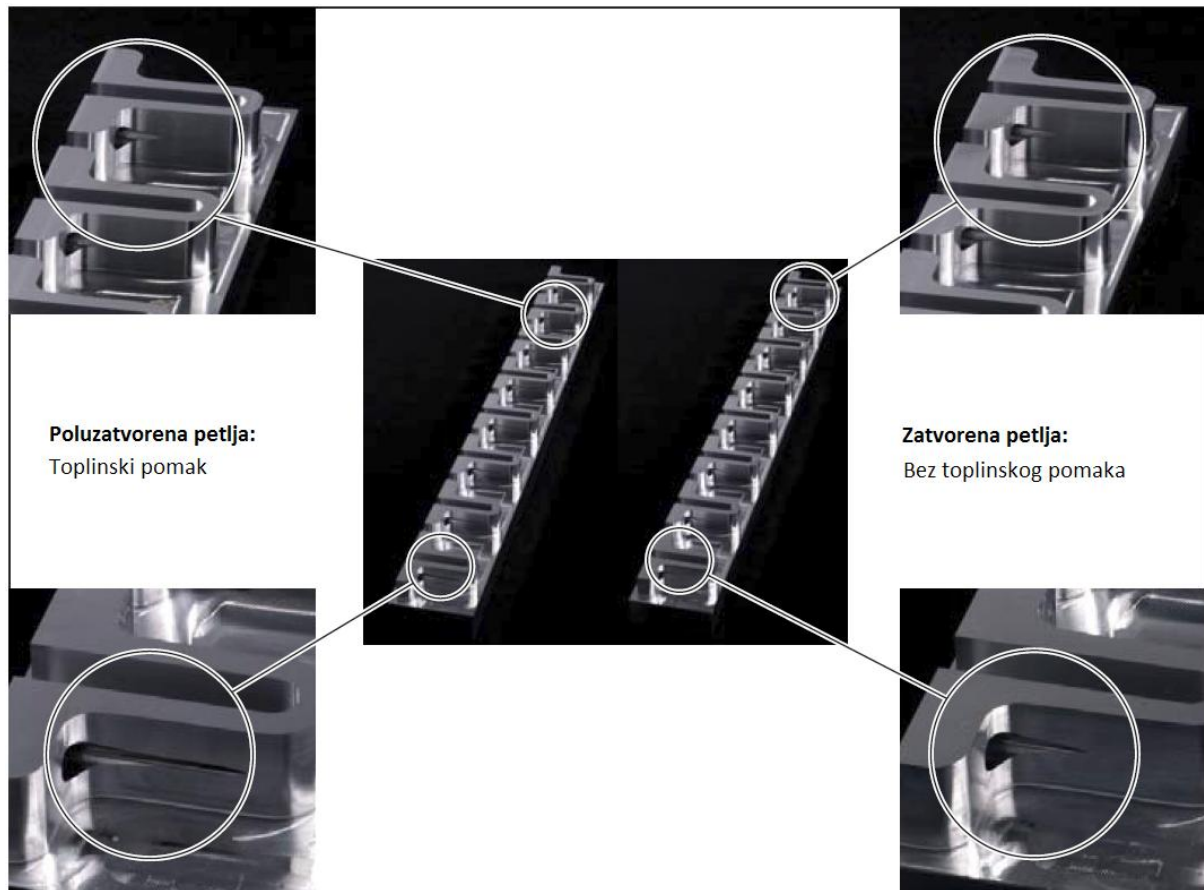
Sirovac je aluminijska letva duljine 500 mm. Letva je prvo bušena i potom se te rupe razvrtavaju. Prosječne posmične brzine prilikom ove obrade su male, pa se generirana toplina u vretenu može zanemariti. U sljedećem se koraku gloda kontura te se prosječna brzina posmaka znatno povećava, što rezultira znatnim povećanjem temperature u vretenu (Slika 21).



Slika 21 - Utjecaj točnosti pogonskog sustava na preciznost izrade malih dijelova

Toplinsko širenje kugličnog vretena uzrokuje devijacije između rupe i konture u slučaju kada se koristi poluzatvorena petlja. Maksimalne devijacije koje su izmjerene iznose 135 μm i pojavljuju se blizu slobodnog ležaja vretena. Takve greške mogu biti u potpunosti izbjegnute sa sustavom koji ima zatvorenu petlju (Slika 11).

Dimenzija između središta kružnice izbušene rupe i simetrale komada svakog pojedinačnog komada mora biti 12 mm s tolerancijskim poljem IT8 kao na danom primjeru (Slika 22). Ta tolerancija iznosi $\pm 13 \mu\text{m}$ ili $\pm 0,013 \text{ mm}$. Svi dijelovi obrađeni u sustavu sa zatvorenom petljom zadovoljavaju toleranciju. U sustavu s poluzatvorenom petljom devijacije mjere iznose $135 \mu\text{m}$. To znači da je tolerancija premašena 10 puta, i zadovoljeno je tek tolerancijsko polje IT13 umjesto traženog IT8.



Slika 22 - Utjecaj točnosti pogonskog sustava u serijskoj proizvodnji malih dijelova

Izbor linearnog mjernog sustava

Nakon svih navedenih argumenata jasno je zašto moramo imati linearni mjerni sustav na našem stroju. Linearni mjerni sustav odabrat ćemo od tvrtke Heidenhain zbog njihove stručnosti i iskustva u području mjerenja. Heidenhainovi linearni davači pozicije su idealni jer se mogu primijeniti gotovo svugdje. Sposobni su za točno mjerenje pri velikim brzinama i ubrzanjima što ih čini visoko dinamičnima.

Linearni mjerni sustav može biti:

- Otvoreni
- Zatvoreni

Otvoreni linearni mjerni sustav (slika 23):

Ovakvi sustavi rade bez mehaničkog kontakta između skenera i skale (ili trake sa skalom). Otvoreni mjerni sustavi se koriste kod mjernih uređaja, komparatora i ostalih preciznih uređaja u linearnom mjeriteljstvu, kao i u proizvodnji i mjerne opreme (npr. industrija poluvodiča).

Neke karakteristike otvorenog linearnog mjernog sustava:

- Točnost do $\pm 5 \mu\text{m}$
- Rezolucija od $0,001 \mu\text{m}$ (1 nm)
- Mjerne letve duljina do 30 m
- Nema trenja između skenera i skale
- Male dimenzije i mala masa
- Visoke brzine gibanja



Slika 23 - Otvoreni linearni mjerni sustav

Otvoreni mjerni sustav je nepogodan jer nije zaštićen od odvojenih čestica koje nastaju i koje ga mogu oštetiti. Kućište nam iz tog razloga daje dodatnu sigurnost.

Prednosti linearnih davača pozicije:

Linearni davači pozicije mjere poziciju linearne osi direktno, dakle bez mehanike između njih i osi. To znači da greške koje se događaju u mehaničkom sustavu osi (npr. zagrijavanje vretena objašnjeno u prethodnim poglavljima) ne mogu utjecati na mjerenje i točnost izrade. Također, pomoću linearnog davača pozicije se mogu izmjeriti greške koje su prisutne kada imamo rotacioni davač pozicije. Pomoću linearnog davača pozicije isključujemo mnoge greške kao što su greška u pozicioniranju zbog toplinskog ponašanja kugličnog vretena te kinematička greška koja nastaje zbog greške uspona navoja vretena.

Mehanička konstrukcija zatvorenih linearnih davača pozicije:

Aluminijsko kućište štiti mjernu letvu, skener i vodilicu od odvojenih čestica, prašine i tekućina. Elastične usne okrenute prema dolje učvršćuju kućište. Skener putuje po mjernoj letvi na vodilici niskog koeficijenta trenja. Kuka (spojka, spojni dio) spaja skener s ugradbenim blokom i kompenzira neusklađenost između mjerne letve i vodilica stroja. Ovisno o modelu linearnog davača, radijalni i aksijalni pomak mogu iznositi između $\pm 0,2$ do $\pm 0,3$ mm između mjerne letve i ugradbenog bloka.

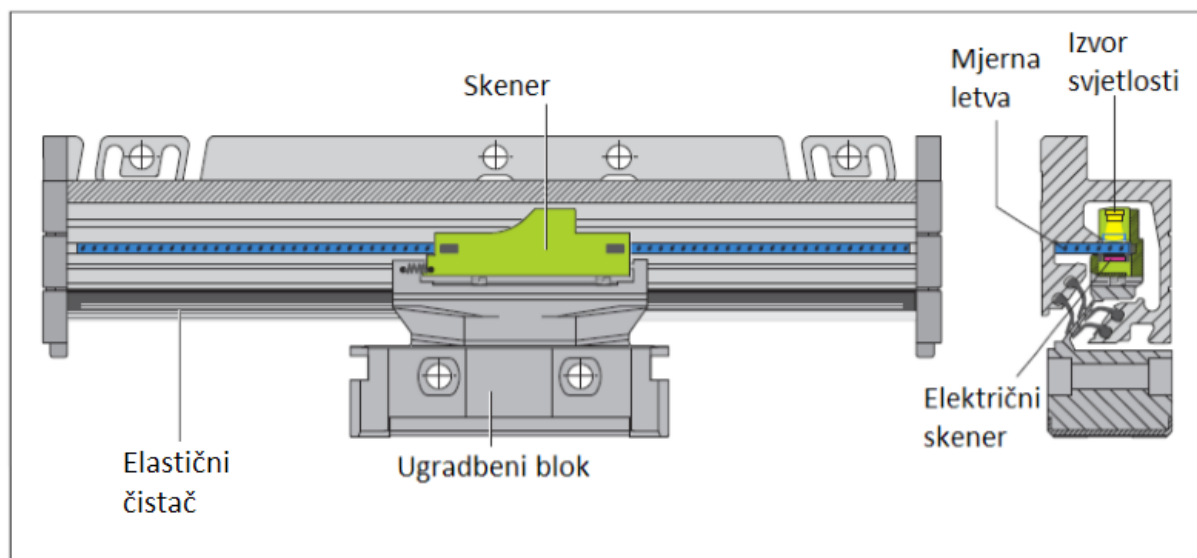
Toplinsko i dinamičko ponašanje:

Poželjno je da se linearni davač pozicije ponaša kao i mehanički sustav na koji je ugrađen. Pri promjeni temperature on se mora širiti ili stezati prema zadanim specifikacijama. U modernoj proizvodnji se zahtijevaju velike posmične i rezne brzine u svrhu povećanja profitabilnosti. Za takve brže strojeve moramo imati i mjerni sustav koji ga je sposoban pratiti.

Eksploatacija:

U eksploataciji se može očekivati da će jedan linearni davač pozicije proći 10 000 km u tri godine rada. Iz tog razloga oni moraju biti robusni. Heidenhainovi linearni davači pozicije rade na principu fotoelektričnog skeniranja bez dodira, a skener se unutar kućišta mjerne letve kreće na kugličnim ležajevima i sve to im omogućava dug vijek trajanja. Ova učajurenost, principi skeniranja, te, po potrebi, uvođenje komprimiranog zraka čine linearne davače pozicije vrlo otpornima na vanjsko onečišćenje. Cijela zaštita osigurava i imunitet na električne smetnje. Na slici 24 je dan shematski prikaz jednog takvog zatvorenog linearnog davača pozicije, a na slici 25 njegov fizički izgled.

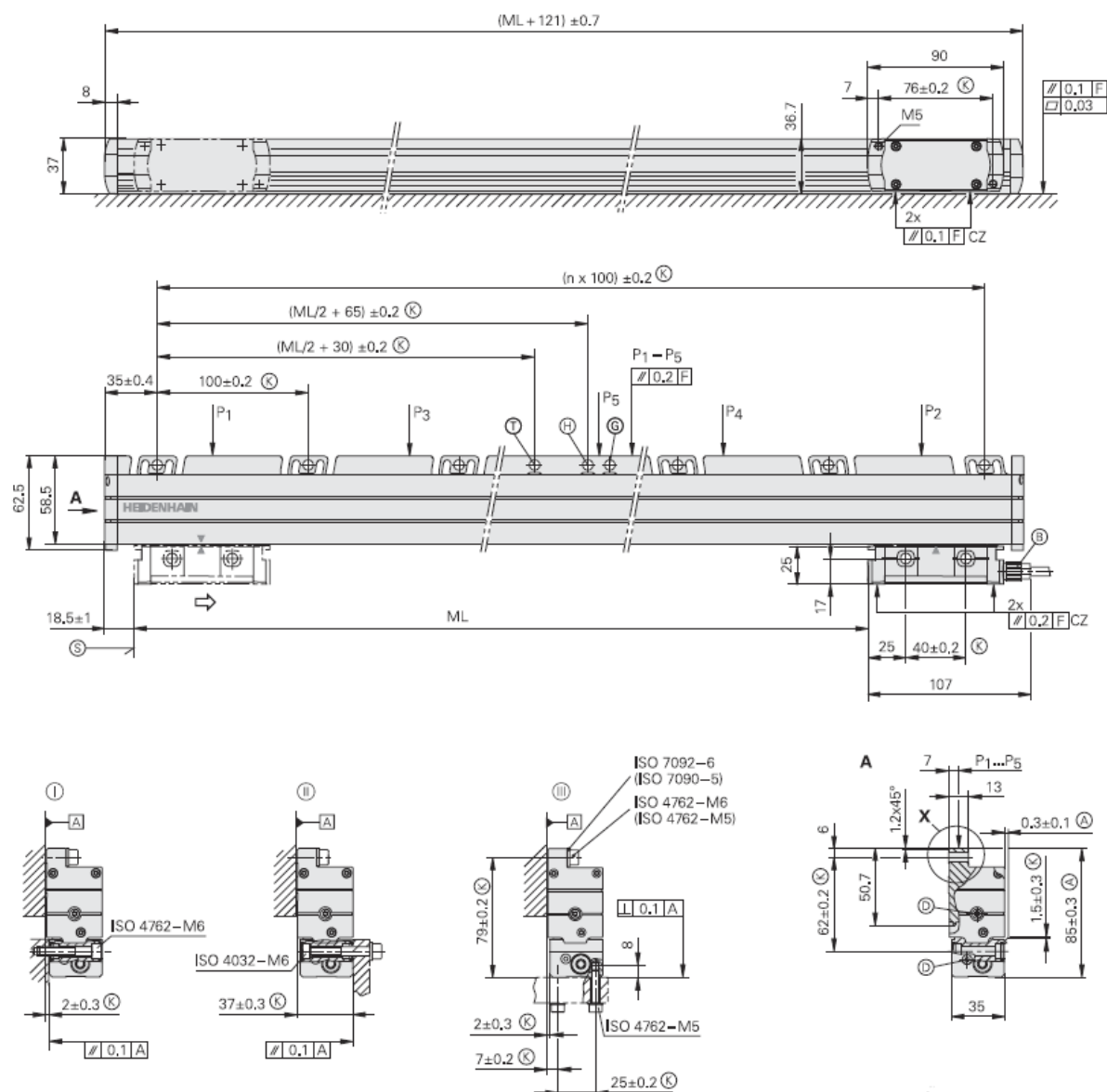
Za naš slučaj trebamo imati linearni davač pozicije koji je u mogućnosti mjeriti 2100 mm, jer je tolika duljina horizontalne osi blanjalice. Odabire se LC 115 linearni davač pozicije sa potpunim kućištem i velikom otpornošću na vibracije.



Slika 24 - Shematski prikaz zatvorenog linearnog davača pozicije



Slika 25 – Zatvoreni linearni davač pozicije



Slika 26 - Specifikacije mjernog sustava

Legenda:

- ①, ②,
 ③ = Vrste ugradnje
 F = Vodilica stroja
 P = Mjesta za kalibraciju
 (K) = Zahtjevane dimenzije za sparivanje
 (A) = Alternativne dimenzije za sparivanje
 (B) = Kabelska utičnica za oba kraja
 (D) = Konektor za dovod komprimiranog zraka na oba kraja
 (T) = Mjesto za mehanički spoj (preferirano)
 (H) = Mjesto za mehanički spoj (kompatibilno s prijašnjim modelom)
 (G) = Mjesto za mehanički spoj s intervalom razmaka od 100 mm
 (S) = Početak mjerne skale ML (= 20 mm apsolutno)
 (W) = Spojne površine
 ⇨ = Smjer kretanja skenera za izlazne signale u vezi s opisom sučelja

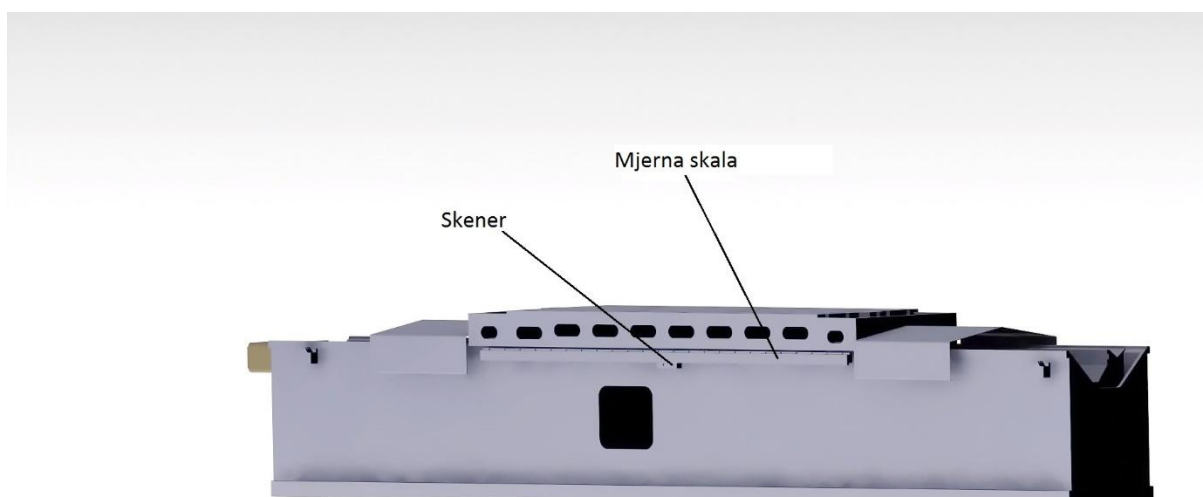
Slika 27 - Legenda specifikacije [5]

Tablica 1 - Specifikacije odabranog mjernog sustava

Specifikacije	LC 115
Mjerni standard	DIADUR staklena skala a apsolutnom i inkrementalnom linijom, interval 20 µm
Koeficijent linearne ekspanzije	$\alpha_{\text{thermal}} \approx 8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Razred točnosti	±3 µm do duljine od 3040 mm; iznad toga ±5 µm
Duljine mjerenja ML (u mm)	140, 240, 340, 440, 540, 640, 740, 840, 940, 1040, 1140, 1240, 1340, 1440, 1540, 1640, 1740, 1840, 2040, 2240, 2440, 2640, 2840, 3040, 3240, 3440, 3640, 3840, 4040, 4240
Vrijednosti apsolutne pozicije	EnDat 2.2
Naređivanje odredišta	EnDat 2.2
Rezolucija	
Pri ±3 µm	0,001 µm
Pri ±5 µm	0,010 µm
Satna frekvencija	≤ 16 MHz
Vrijeme računanja, t_{cal}	≤ 5 µs
Električni konektor	Zasebni adapter s kablom (1m/3m/6m/9m) spojiv na obadvije strane ugradbenog bloka

Duljina kabla	≤ 100 m
Napajanje	3,6 do 14 V DC
Maksimalna snaga	3,6 V: $\leq 1,1$ W 14 V: $\leq 1,3$ W
Struja	5 V: 140 mA (slobodni hod)
Brzina	≤ 180 m/min
Tražena sila gibanja	≤ 4 N
Vibracije (55 Hz do 2000 Hz)	Kućište: ≤ 200 m/s ² (HRN 60068-2-6) Skener: ≤ 200 m/s ² (HRN 60068-2-6)
Udarac 11 ms	≤ 300 m/s ² (HRN 60068-2-6)
Ubrzanje	≤ 100 m/s ² u smjeru mjerenja
Radna temperatura	0 °C do 50 °C
Zaštita HRN 60 529	IP 53 kada je instalacija u skladu s brošurou, IP 64 pod zaštitom zraka od DA 400
Masa	0,55 kg + 2,9 kg/m mjerne duljine

Na slici 26 i u tablici 1 vide se dimenzije mjernog sustava koje su važne za ugradnju, odnosno specifikacije tog sustava. Ukupna duljina mjerne letve koja je potrebna iznosi $ML = 2100 + 121 = 2221$ mm, međutim takve mjerne letve nema u proizvodnji, pa se odabire prvu sljedeća koja je zadovoljavajuća. Odabire se mjernu letvu $ML = 2240$ mm. Iz priloženog se vidi da ovaj mjerni sustav osigurava točnost od ± 3 μm , i rezoluciju 0,001 μm . Brzina do koje može točno mjeriti iznosi ≤ 180 m/min. Toplinski raspon u kojem su zagarantirane ove karakteristike je od 0°C do 50°C. Ugradnja je pomoću vijaka direktno na os kojoj se mjeri pozicija.

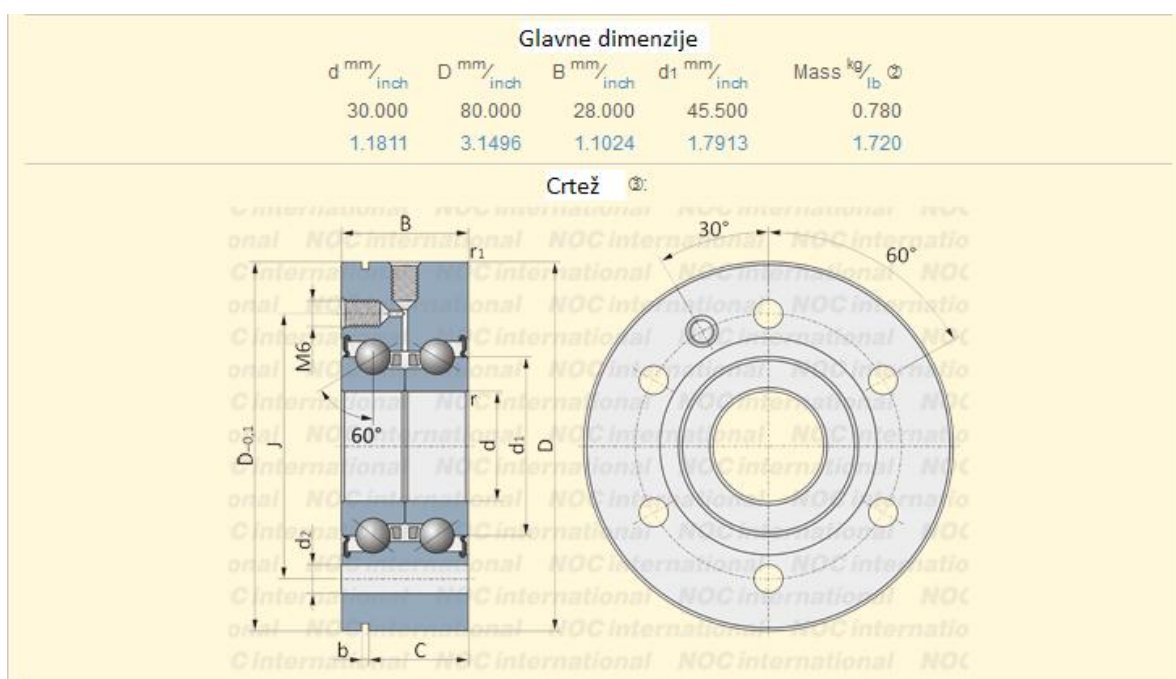


Uležištenje kugličnog vretena

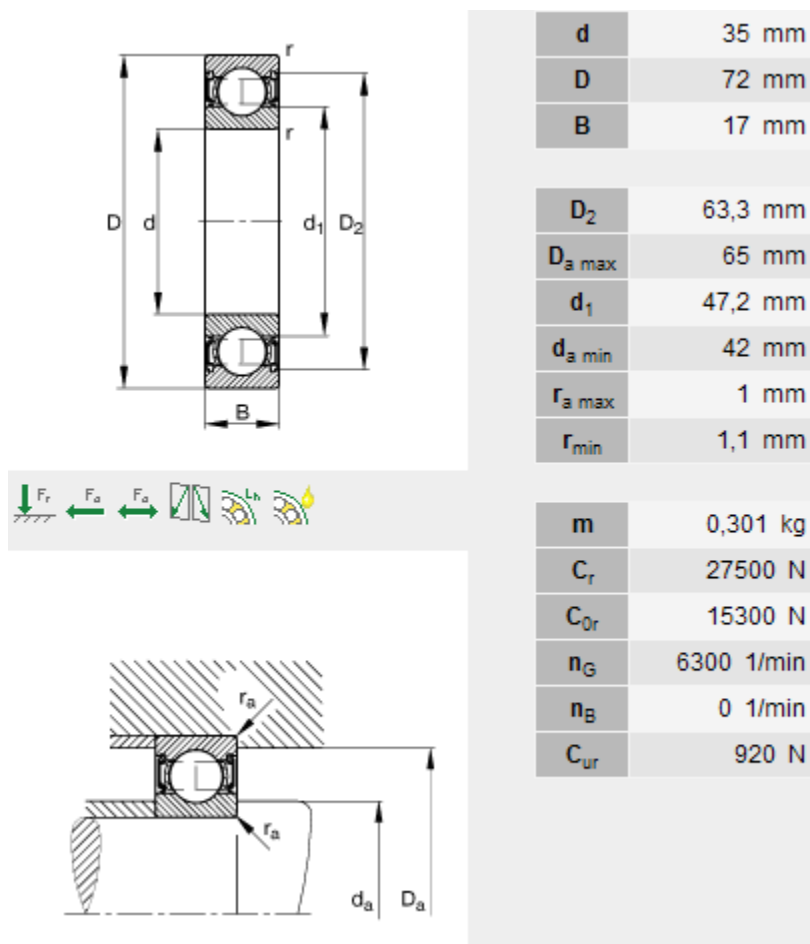
Vreteno je uležišteno s lijevim ležajem zklf3080, i protuležajem 6207-2rsr. Na slici 28 je prikazan ležaj zklf3080, a na slici 29 6207-2rsr.

Ostale komponente sustava

- Spojka BK2 60 83 24 25
- Postolje
- Matica FDM-E-S 50 x 10R x 6 – 6
- Kuglično vreteno 50x10Rx6



Slika 28 - Ležaj zklf3080



Slika 29 - Ležaj 6207-2rsr

4. Zaključak

Ovim radom se daje pregled posmične osi blanjalice, a posebna pažnja je posvećena mjernim sustavima kojima se određuje pozicija. Kao osnova za izbor mjernog sustava uzima se horizontalna os blanjalice. Na njoj je ugrađen mjerni sustav koji radi sa određenom greškom. Zbog toga je potrebno ugraditi drugačiji mjerni sustav koji će raditi s manjom greškom. Postojeći mjerni sustav je rotacioni, ugrađen na motor. Pošto je ugrađen na motoru, dakle prije mehaničkih komponenti koje se nalaze u sustavu osi nakon motora, on zanemaruje mehaničke greške koje nastaju. Glavni uzrok tih mehaničkih greški je toplina koja se generira na kugličnom navojnom vretenu.

Toplina nastaje zbog trenja između kuglica i vretena. Toplina uzrokuje širenje i stezanje vretena što na kraju rezultira krivim pozicioniranjem radnog komada na radnom stolu, a to rezultira lošom obradom. Da bi to izbjegli moramo imati mjerni sustav koji neće ovisiti o problemu širenja i stezanja vretena. To nam omogućuje linearni mjerni sustav koji direktno mjeri poziciju stola. S takvim mjernim sustavom kompenziramo mehaničke greške koje nastaju.

Na temelju Heidenhainovih kataloga napravljen je izbor linearnog mjernog sustava. Odabran je sustav LC 115 mjerne duljine 2240 mm. On pokriva cijelu duljinu radnog stola i još je 19 mm dulji tako da se ne može desiti da nam je pozicija obratka izvan mjernog područja.

5. Literatura

1. Heidenhain - Machining Accuracy of Machine Tools
2. Y. Altintas, A.Verl, C.Brecher, L.Uriarte, G.Pritschow - CIRP Annals - Manufacturing Technology
3. <http://www.mroelectric.com>
4. Heidenhain - Position Encoders for Servo Drives
5. Heidenhain – Linear Encoders for Numerically Controlled Machine Tools
6. NOC International, <http://www.noc.ua>
7. Schaeffler Technologies AG & Co. KG (INA), <http://medias.ina.de>
8. Udiljak T., Mjerni Sustavi Kod Numerički Upravljanih Alatnih Strojeva – predavanja
9. Ciglar D., Obradni Sustavi – predavanja
10. HSTEC d.d. – High Speed Technique, www.hstec.hr